

ATOMKI KÖZLEMÉNYEK

22. kötet / 1. melléklet
GYORSÍTÓK NÉPGAZDASÁGI ALKALMAZÁSA



MTA
ATOMMAGKUTATÓ INTÉZETE, DEBRECEN / 1980

ATOMKI KÖZLEMÉNYEK

22. Kötet 1. Melléklet

539

HU ISSN 0004-7155

ELŐADÁSOK A
GYORSÍTÓK NÉPGAZDASÁGI ALKALMAZÁSA
MŰSZAKI-TUDOMÁNYOS TANÁCSKOZÁSON

MTA Atommagkutató Intézete
1979. november 23.

Szervezők:

MTA Atommagkutató Intézete
Országos Atomenergia Bizottság
MTA Magfizikai Albizottsága

A kinyomtatott szöveg a szerzői kéziratoknak technikai
okokból változatlan lenyomata

A kéziratok egybegyűjtése Mahunka Imre munkája

PROGRAM

	Oldal
1. Megnyitó <i>Berényi Dénes</i>	4
2. a) Gyorsítók alkalmazása besugárzásra <i>Földiák Gábor</i>	7
b) Gyorsítók besugárzásos alkalmazása a radio- mutációs nemesítésben <i>Pásztor Károly</i>	11
c) Lineáris elektrongyorsító berendezés alkal- mazása a szigetelőanyag-gyártásban <i>Baranovics Pál és Szőcs Gyula</i>	24
d) Elektrongyorsítók és különböző sugárforrá- sok környezetvédelmi célú alkalmazása a szennyvizek és a fertőzött takarmányok fer- tőtlenítésénél <i>Simon József, di Gleria Márta és Klopfer Ervin</i>	28
e) Élelmiszertartósítás és minőségfejlesztés ionizáló sugárzással <i>Vas Károly</i>	38
f) Elektronsugárzás a műanyagiparban <i>Dobó János</i>	42
g) Roncsolásmentes gyártmányellenőrzés gyor- sítókkal <i>Tar József</i>	47
h) V i t a	
3. a) Gyorsítók ipari analitikai alkalmazásának áttekintése <i>Bujdosó Ernő és Tóth Lajos</i>	50
b) A kohászat és gépípar gyorsítók felhasználá- sával megoldható analitikai igényei <i>Hegedűs Zoltán</i>	61
c) Gyorsítókkal megoldható analitikai feladatok a félvezető iparban <i>Gyulai József</i>	64

d) A gyorsítók alkalmazásának lehetőségei a talajmikrobiológiában <i>Helmecki Balázs</i>	72
e) V i t a	
4. a) Izotóptermelés gyorsítókkal <i>Lengyel Tamás</i>	80
b) Gyorsítókkal termelt izotópok az iparban <i>Hegedüs Zoltán és Fenyvesi Ede</i>	87
c) Gyorsítók (ciklotronok) termelte izotópok a mezőgazdaságban <i>Bálint Andor</i>	90
d) EP kenőanyagok és forgácsoló hűtő-kenőfolyadékok kopásgátló tulajdonságainak vizsgálata izotópos indikációs módszerrel <i>Zalka Lajos, Vámos Endre és Jécsai Lászlóné</i>	95
e) V i t a	
5. a) A Debrecenben létesülő ciklotron laboratórium <i>Valek Aladár</i>	102
b) Az U-103 ciklotron ipari-mezőgazdasági alkalmazási lehetőségeinek áttekintése <i>Mahunka Imre</i>	108
c) V i t a	
6. Zárszó <i>Veres Árpád</i>	116

M E G N Y I T Ó

BERÉNYI DÉNES

MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen

Mindenek előtt arról szeretnék beszélni, hogy mi tette indokolttá ennek a tanácskozásnak az összehívását. A magam részéről három főokot látok erre.

Először is azokat a világszerte jelentkező tendenciákat kell emlitenem, amelyek előtt nem lehet és nem szabad szemet hunynunk. Ezek szerint rohamosan terjed a részecske gyorsító berendezések felhasználása kifejezetten gyakorlati, ipari-mezőgazdasági-orvosi célokra. Tudjuk, ez az alkalmazási spektrum igen széles, a nagy tisztaságú anyagok előállításánál alkalmazott nyomanalitikától a modern csomagolástechnikán át a rákterápia legújabb utjaiig. Ha pl. a két legutóbbi un. kisgyorsítókkal foglalkozó konferenciát vesszük (mindkettőt a texasi Dentonban tartották 1976, ill. 1978-ban [1] [2]) megállapíthatjuk, hogy a kifejezetten gyakorlati problémákkal foglalkozó előadások száma megközelíti az 50 %-ot. De más gyorsítókkal foglalkozó konferenciákon (pl. a 8. Nemzetközi Ciklotron Konferencián [3] vagy a világ működő és tervezett legnagyobb gyorsítóival foglalkozó San Francisco-i konferencián [4]) is igen nagy teret kapnak ma az alkalmazások.

Pedig ismeretes, hogy ezeken a konferenciákon előadott beszámolók a gyakorlati alkalmazásokról, csak a "jéghegy" csúcsát jelentik. Az 1976-os Kisgyorsító Konferencián a következőket mondta pl. Baird, a Grace and Co. képviselője: "Nagyon kevés részletes beszámoló jelent meg ezekről az ipari folyamatokról, mivel a besugárzás ilyen értelmű alkalmazása viszonylag titkos jellegű az üzleti érdekek sarkalta nagyfokú verseny miatt". A vállalat különben, amelynél Baird dolgozik fagyasztott élelmiszerek plasztik fóliába történő vákuum-csomagolásakor alkalmazza a nagy energiájú elektronbesugárzást megdöbbentően nagy méretekből, összes nyalábteljesítményük erre a célra - az információk szerint - több mint egy fél megawatt [5].

Ezek a világtendenciák jelentkeznek a KGST tagállamokban is. Hogy a magyar igényeket reálisan felmérjük a következő 10-15 évre ezen a téren és lássuk, hogy a gyorsító gyártó bázis bővítésére szolgáló KGST erőfeszítésben mennyire vegyünk részt, - ez az a második ok amiért ezt a mai tanácskozást szükségesnek tartjuk.

A harmadik ok pedig az, hogy folyamatban van az első magyar ciklotron laboratórium beruházása. Ez több vonatkozásban is egyedülálló lehetőséget fog teremteni a legkülönbözőbb alkalmazások szempontjából. Ugy tervezzük, hogy összkapacitásának legalább fele inter- és multidiszciplináris kutatásra és kifejezetten gyakorlati - ipari-mezőgazdasági - alkalmazásokra lesz kihasználva.

Ezért múlt év őszén egy tudományos ülést a ciklotron orvosi alkalmazásainak (diagnosztika, terápia, analitika) szenteltünk, most pedig ezzel a tanácskozással - a már említett problémák megvitatásán túlmenőleg - a ciklotron ipari-mezőgazdasági feladataira kívánunk felkészülni.

A gyorsítókat egyébként - úgy gondolom erről kell még szólnom ebben a bevezetőben - többféle szempontból lehet osztályozni.

Mindenekelőtt maga a gyorsító olyan berendezés, amelyik töltött részecske-nyalábokat (elektronokat, protonokat, nehéz-ionokat) állít elő. Közvetve, megfelelő töltött részecskéket megfelelő célanyagokba ütköztetve gyorsítókkal neutron és elektromágneses sugárnyalábot is állíthatunk elő.

Vannak gyorsítók, amelyekkel csak egyik (pl. elektron) vagy másik (pl. nehéz-ion) fajta nyalábot lehet gyorsítani. Gyorsítási elv és elrendezés szerint vannak lineáris és ciklikus gyorsítók, aszerint, hogy egy adott potenciál-különbséget egyszer vagy többször futnak be a gyorsított részecskék.

Az osztályozást különböző szempontok szerint lehet tovább folytatni és finomítani. Még talán annyit, hogy a gyakorlati alkalmazások szempontjából elsősorban az ún. kisgyorsítóknál vagyunk érdekelve. Kisgyorsítóknak a 15 MeV-nél kisebb energiájú nyalábot szolgáltató gyorsítót tekintik (az alsó határ kb. 100 keV körül van, az alatt inkább elektron vagy ion ágyúról beszélünk). Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a közepes- vagy nagyenergiájú gyorsítók ne lennének érdekesek az alkalmazások szempontjából.

Végül megemlítem, hogy a mai tanácskozást négy egymásutáni szekcióra osztottuk fel, megfelelően az alkalmazási területek három fő témájának (besugárzás, analitika, izotópelőállítás), negyedikként külön szekcióban tárgyalva az első hazai ciklotron alkalmazási lehetőségeit.

A mai tanácskozást kezdetnek szánjuk az egész témakörben, amelyet majd - a szükségleteknek megfelelően - a részletekre vonatkozóan különböző vita-fórumok, illetve ami még fontosabb, tényleges kutató-fejlesztő és a gyorsítókat alkalmazó termelőmunka követnek.

Hivatkozások

- [1] Proc. 4th Conf. Scientific and Industrial Application of Small Accelerators, Denton, Texas, USA. October 27-29 1976.
- [2] 1978 Conference on the Applications of Small Accelerators in Research and Industry. North Texas State University, Denton, Texas, November 6-8, 1978. IEEE Transactions on Nuclear Science NS-26 (1979) No.1. Part 1-2.

- [3] Eighth International Conference on Cyclotrons and their Applications, Bloomington, Indiana, USA 18-21, Sept. 1978. IEEE Transactions on Nuclear Science **NS-26** (1979) No.2. Part 1-2.
- [4] 1979 Particle Accelerator Conference, IEEE Transactions on Nuclear Science **NS-26** (1979) No.3. Part 1-2.
- [5] *W. G. Baird, Jr.*, Proc. 4th Conf. Sci. and Ind. Appl. of Small Accelerators, Denton, Texas, USA Oct. 27-29, 1976. p.30.

GYORSÍTÓK ALKALMAZÁSA BESUGÁRZÁSRA

FÖLDIÁK GÁBOR

MTA Izotóp Intézete, Budapest

Az előadás három kérdéscsoporttal foglalkozik: általános képet kíván adni a probléma egészéről, kicsit többet foglalkozik a korreferátumok által nem érintett témákkal, és végül tárgyalja a kémiai kutatásra tervezett gyorsító hazai kilátásait. Más szekció fejti ki a gyorsítók ipari analitikai alkalmazását és egy további előadáscsoport az izotóptermelés kérdéseit.

Az a vita és egzisztenciáharca, amely a sugártechnikák terén egyrészt a radioaktív sugárforrásokat és az ezeken alapuló besugárzó berendezéseket készítő cégek, másrészt a gyorsítókat előállító vállalatok között folyik, nem ujkeletű: körülbelül negyedszázados multra tekinthet vissza. Az egyes dolgozatok szerzői értelemszerűen a szerint foglalnak állást az egyik vagy a másik technika mellett, hogy a munkaadójuk miből él: a gyorsítókat előállító vállalatok gazdasági szakemberei a gyorsítók mellett törnek lándzsát, ugyanakkor a ^{60}Co γ -sugárforrások, illetve besugárzó berendezések készítői saját portékájukat dicsérik. Ettől a szubjektív beállítottságtól eltekintve azonban egyes területeken az egyik vagy a másik sugárforrástípusnak döntő technológiai előnyei miatt lényegében monopol a helyzete. Mig pl. a sugársterilizálásban a ^{60}Co uralkodó szerepe vitathatatlan, addig a műanyagipari sugárhatás-kémiában egyértelműen a gyorsítóké a pálmá. Ez utóbbi megállapítás az elmúlt években fokozott hangsúlyt kapott a 300-400 keV határig működő, "közepes" energiájú felületi kezelésre /"festésre"/ szolgáló gyorsítók térhódításával, és ezért gazdasági, vegyszertakarékosági és környezetvédelmi előnyeik miatt fontosságukban egyre inkább megközelítik a többi polimer-sugártechnikai eljárást, vagy talán éppen napjainkban törnek az élre. Ezekről a kérdésekről, valamint a nagy /4 MeV feletti/ berendezésekről a műanyagipari alkalmazásokkal kapcsolatban még fogunk hallani.

A gyorsítók mezőgazdasági alkalmazásával szintén önálló korreferátum foglalkozik: ilyen kutatás-fejlesztés főleg a fejlődő országok szempontjából jelentős, mivel azok jelentős része még éghajlatu, és így pl. a termények féregmentesítése komoly gazdasági előnyökkel jár. Ehhez kiegészítésül előre annyit kell hozzátennem, hogy a növénygenetikai alkalmazások mellett az elmúlt években egyre nagyobb szerephez jut a többé-kevésbé mezőgazdasági célú kut- és szennyvizkezelés is. A csőkutak hozamának növelésére, illetve kapacitásuk stabilizálására az NDK-ban dolgoztak ki eljárást: kb. 10 TBq /néhány száz Ci/ aktivitásu ^{60}Co sugárforrást helyeznek a csőkutba, mely megakadályozza,

vagy alapvetően lelassítja annak algásodását és így eldugulását, nagy gazdasági hasznot hozva a mezőgazdaságnak. A szennyvíz csíraszámcsökkentésénél még folyik az ádáz vita egyrészt a sugárkezelés és a kémiai tisztítás /egyelőre a kémiai kezelés sokkal olcsóbb/, másrészt a radioaktív sugárforrások / ^{60}Co / és a gyorsítók között. E harc eredményeként mindkét módszer finomul, és gazdaságosabbá is válik. Tény, hogy jelenleg ezen a területen mind gyorsítókkal, mind radioaktív besugárzókkal próbálkoznak; a legfrissebb hadijelentést a korreferátumból fogjuk megtudni.

A roncsolásmentes gyártmányellenőrzés időbeni fejlődési iránya eltér a többi sugártechnikai módszerétől. Ismeretes módon a vizsgálatok alapvető és első módszere a röntgenfelvétel-készítés volt, és csak ennek térhódítását követően került bevezetésre a ^{60}Co és az ^{192}Ir γ -sugárzásán alapuló radiográfiai módszer; az előző energiája 2-5-ször nagyobb a röntgengépek szokásos, néhány száz keV energiájánál, és így nagyobb falvastagságok átvilágítására alkalmasak. A falvastagságok növekedésével és a gyorsítók fejlődésével azután a helyzet ismét megfordult, hiszen a több MeV energiájú gyorsítók viszonylag kis méretűekké, könnyebben szállíthatóvá és mindenekelőtt olcsóbbakká váltak. Ilyen, bár szerényebb anyagvizsgálati célra szolgáló kisebb betatronok ma már Magyarországon is vannak, és remélhetőleg - néhány éven belül - újabb, valóban korszerű, nagyobb teljesítményű gyorsító is a gépípar rendelkezésére fog állni.

A továbbiakban kissé részletesebben olyan alkalmazásokkal kívánok foglalkozni, amelyekre a korreferátumok nem térnek ki.

Ezek közül talán legnagyobb az ionimplantáció jelentősége. E módszernek - ismeretes módon - az a lényege, hogy valamely szilárd anyag felületének közelébe ionsugárzással "szennyező" atomokat építünk be. Akis energiájú ionimplantáláshoz általában 30 kV alatti, de legtöbbször csak néhány kV-os gyorsítás szükséges, mely 1 nm körüli mélységig változtatja meg a az anyagösszetételt. Nagy energiájú implantációnak viszont a 100 keV nagyságrendű energiájú kezeléseket tekintik, melyek 1-10 nm mélységű változásokat okoznak. Az alkalmazott dózis 10^{12} - 10^{16} ion/cm².

Ionimplantációt a gyakorlatban főleg három területen használnak:

- a "predepozíció" célja kis feszültségű ionokkal idegen atomoknak szilárd testek igen vékony felületi rétegébe történő juttatása, melyet követően magas hőmérsékleten diffundáltatják a szennyező atomokat nagyobb mélységbe /pl. félvezetők készítésére/;

- félvezető-előállítás céljából 400-30 keV energiával, többlépcsőben, rétegesen is juttatható pl. arzén, bór és/vagy foszfor, pl. szilíciumba /"eltemetett rétegek"/;

- metallurgiai feladatokat is meg lehet oldani implantációval, pl.: acél felületének nitrogénnel történő kezelésével kopásnak vagy korróciónak ellenállóbb /nitridesített/ felület hozható létre. Mód nyílik azonban olyan telteltített összetételű ötvözetek készítésére is, amilyeneket, általában oldhatósági okok miatt, a szokásos technológiákkal nem lehet előállítani.

E mellett megemlítendőek még az ionimplantációra épülő vizsgálati módszerek is, pl.

- a Rutherford-szórás mérésén alapuló roncsolásmentes vizsgálat egyes felület alatti szennyezések mértékének és helyének megállapítására vagy

- a ^{85}Kr radioaktív izotóppal végzett maximális üzemi hőmérséklet vagy korrózió ellenőrzése.

A gyorsítók alkalmazása terén azonban jelentős szerep jut a tudományos kutatásnak, nemcsak a fizika, hanem a kémia területén is. Azok a reakciókinetikai mérések, amelyek a sugárhatás-kémiai vizsgálatokból nőttek ki, és voltaképpen ma már a fizikai-kémiai vizsgálatok egyik legmodernebb irányzatát képviselik, impulzus-radiolízisen alapulnak. Ezek a vizsgálatok nem a termékanalízisből vonnak le következtetéseket, hanem az átmeneti termék valamely tulajdonságát követik: optikai spektroszkópiával /lényegében spektrofotométer adta lehetőségek kihasználásával/, 200-4000 nm tartományban, az adott folyamat szempontjából optimális hullámhosszon követik az átmeneti termék spektrumának időbeli változását, vagy pedig az ESR spektrumot vagy a vezetőképességet mérik ugyancsak az idő függvényében. Ezen területen - nemzetközi együttműködésben, külföldi laboratóriumokban - már eddig is sok magyar kutató ért el szép eredményeket.

Ezekhez a kísérletekhez - szemben a fizikai kutatás gyorsítóigényével - nem nagy energia, hanem a rövid impulzus és közepes energia szükséges. A reakciókinetikai célú impulzus-radiolízishez általában 1-4 MeV energiájú impulzusokat használnak, és pedig egyre rövidebbeket: egy évtizeddel azelőtt 1 μs volt az impulzushossz, de ma már a 25 ps-osak a legrövidebbek, és az 1-100 ns-os impulzusok tekinthetők tipikusnak. A gyors impulzusok ugyanis lehetővé teszik viszonylag rövid életű átmeneti termékek kényszerítésének és bomlásának nyomonkövetését. E kutatásokhoz alkalmazott gyorsítók száma igen nagy, elterjedtségük világviszonylatban a 100-as nagyságrendnek felel meg.

Ezért a következő években, várhatóan 1982 körülre az MTA Izotóp Intézetében üzembehelyezünk egy csehszlovák gyártmányú, Tesla-típusú, 4 MeV energiájú lineáris gyorsítót, amelynek garantált legrövidebb impulzusedeje 60-80 ns, de amely impulzusidő remélhetőleg rövidíthető lesz. Ehhez a berendezéshez a szellemi és anyagi adottságoktól függő ütemezésben ki kívánjuk építeni az előbb említett optikai és vezetőképesség-mérő elrendezést, sőt - ha majd annak anyagi és beszerzéstechnikai problémáit meg tudjuk oldani - olyan CAMAC egységekből felépített mérő-adatfeldolgozó rendszert, mely a gyorsító szabályozását, az adatok mintavételét, valamint ezt követő feldolgozását egy-egy felfogásban oldja meg. A berendezés költsége körülbelül 10 millió Ft-nak megfelelő csehszlovák korona, a szükséges építkezésre és a kiegészítő installációkra pedig további kb. 10 millió Ft-ot számolunk. Ezt fogja majd kiegészíteni a számítástechnika jelenlegi áron kb. 10 millió Ft-ra becsült összege.

Végeredményben tehát úgy tűnik, hogy a következő, VI. ötéves terv közepére, ha nem is az élenjáró, de a jelenlegi átlagosnak megfelelő színvonalon, lényegében forintból és KGST-relációból sikerül megfelelő gyorsító berendezést a hazai kémiai kutatás rendelkezésére bocsátani.

Hivatkozások

1. G. Dearnaley, J. H. Freeman, R. S. Nelson, J. Stephen, Ion implantation /North Holland, Amsterdam, 1973/
2. Dobó J., Gyakorlati sugárkémia /Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967/
3. Földiák G., Az izotópok ipari alkalmazása /Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972/
4. F. Ury J., Kém. Közl. 32 /1969/ 137
5. Pásztor E., Királyhídi L. és mások, A KFKI 150 keV-es implantáló berendezése, KFKI-76-27, Budapest, 1976
6. Radiation for a clean environment, Proc. Symp. Munich, 17-21 March 1975, [IAEA, Vienna, 1975/
7. Сборник докладов конференции по вопросам внедрения радиационных установок и радиационной техники, СЭВ, Будапешт, 2-4 октября 1972 г., /Институт изотопов ВАН, Будапешт, 1973/
8. Technical developments and prospects of sterilization by ionizing radiation, szerk.: E. R. L. Gaughran and A. J. Goudie /Multiscience, Montréal, 1974/
9. J. Telpý, B. Sojka és mások, Nukleon /Řež/ 1/77 /1977/ 3

GYORSITÓK BESUGÁRZÁSOS ALKALMAZÁSA A RADIOMUTÁCIÓS NEMESÍTÉSBEN

PÁSZTOR KÁROLY

Agrártudományi Egyetem, Debrecen

A mezőgazdaság gyors iramu fejlődése egyre nagyobb követelményeket támaszt a nemesített fajtákkal szemben. Ez érthető is, mert az élelmezés gondjainak a megoldásához nagyobb termőképességű, biztonságosan termesztethető, s egyes speciális igényeket is kielégítő növényfajtákra van szükség.

Ahhoz, hogy a nemesítők a jelentkező igényeknek eleget tudjanak tenni megfelelő nemesítési alapanyagokra van szükség. Ezeket olyan változatos formában kell előállítani, hogy az egyedekben megtalálhatók legyenek mindazok a tulajdonságok, amelyeket a nemesítő, a nemesítői munka során az új fajtákba tud egyesíteni.

A nemesítői alapanyagok biztosításának különböző lehetőségei vannak. Ezek közül az indukált mutációk kiváltásával történő alapanyag előállításnak napjainkban fokozottabb a jelentősége. A mutációs kutatások célja többek között a termelési igényeket jobban kielégítő típusok előállítása /pl. korán érő, bőtermő, magas fehérjetartalmu, betegségellenálló, szárszilárd stb./. Besugárással elősegíthetjük genetikailag távoli növényfajok keresztezhetőségét és sok más olyan tulajdonság kiváltását, amelyeket hagyományos nemesítői eljárással nem tudunk megvalósítani /13-14/.

A különböző mutagének felhasználásával a növények formagazdagságát növelni tudjuk /3,5,24,25/.

I/. INDUKÁLT MUTÁCIÓK FELHASZNÁLÁSA A NÖVÉNYNEMESÍTÉSBEN

Kezdetben főleg genetikusok, citológusok, élettanosok foglalkoztak a sugárzások által kiváltott hatások elemzésével. Később a növénynemesítők is bekapcsolódtak a vizsgálatokba, de ugyanakkor felhasználták a genetikusok által értékesnek talált pozitív mutánsokat is. Ma ez a kutatás a különböző tudományterületek kutatóival szoros együttműködést kíván.

A mutánsok előállítására UV-sugarakat, gamma-sugarakat, röntgen-, gyors- és lassu neutronokat, elektronokat, protonokat, radioaktív izotopokat JT mezonokat valamint vegyszereket használnak fel. /10,30/

A besugárzás módozatai is különbözőek lehetnek. Legáltalánosabb módszer a vetőmagminták besugárzása. /6,12,16/ Alkalmaztak olyan eljárást is, amikor a vetőmagmintákat radioaktív oldatba helyezték. /15,21,22,33/ Másik lehetőség az, amikor a radioaktív anyagokat felszívatták az élő növényekkel /7,16/, vagy a fejlődő növényeket külső besugárzásnak teszik ki pl. sugárkertekben /2/. Ujabban kezd teret hódítani a pollenszemek besugárzásos kezelése is. /8,10/. Bármilyen legyen az alkalmazás, nagyon fontos az, hogy a kezelt magvakból kikelt növényeket tiszta tenyészetben tartsuk, és így végezzük az utódszármazékok szelekcióját.

Hazánkban és a különböző országokban a korábbi években folyó radiomutációs kutatásokról illetve a mutációs nemesítésben alkalmazott eljárásokról, azok eredményeiről SIMON /28/ közöl irodalmi összefoglalót, valamint BÁLINT 1967-ben megjelent könyvében /2/ ad részletesebb áttekintést.

Az ötvenes évek közepéig elsősorban röntgen- és gamma-sugarakat alkalmaztak a növény-nemesítők mutációk kiváltása céljából, majd az ezt követő években egyre inkább rátérnek a neutron és proton sugárzások gyakorlati alkalmazására /1,12/.

A neutronok iránti érdeklődést CALDECOTT /7,30/ azzal magyarázza, hogy a neutron sugárzással két- illetve négyszere-sen nagyobb genetikai hatást lehet elérni, mint más sugárforrásokkal. Állítása szerint a termikus neutronok alkalmasabbak mutációk kiváltására, mint a gamma-sugarak. Több kutató /20, 22,26,27,29/ vizsgálataiból az is kitűnik, hogy a gyors neutronok mutagén tényezői még fokozottabban előnyben vannak a röntgen és gamma sugárzásokhoz képest. A gyors neutronok alkalmazásakor, egységnyi dózis esetén - ugyanolyan biológiai károsodás mellett - nagyobb a mutációs hatás és nagyobb a mutáció gyakorisága a növényekben.

Ujabb kutatások /9,19,26/ szerint a neutronok hatása kevésbé függ a növényi magok besugárzási körülményeitől /nedvesség, oxigén tartalom, hőmérséklet, frakcionált dózis, magvak tárolási ideje/, mint a röntgen vagy gamma sugárzás alkalmazása esetén. A neutron besugárzás genetikai és növénytermesztési célokra való felhasználásával több mint 600 tudományos közlemény foglalkozik /16/.

A korábbi években megjelent közleményekben a különböző energiájú neutronok dózisának mérési nehézségei-, valamint a reaktorokban fellépő erős gamma sugárzás miatt a különböző szerzők eredményeit nehéz összehasonlítani. Főleg KONZAK és SMITH valamint munkatársaik /19,23,32/ vizsgálatait nyomán nyílt lehetőség a besugárzási körülmények összehasonlítására és standardizálására.

II./ A GYORS NEUTRONOK ÁLTAL KIVÁLTOTT MUTÁCIÓK ELEMZÉSE

Különböző gabonaféléknél /árpa, buza, rizs, kukorica/ eltérő feltételek mellett vizsgálták a gyors neutronok által előidézett sugárzás hatékonyságát /9,16,17,18,31/.

FUJI japán kutató /9/ a kukorica Bz vonalának virágporszemeit 14 MeV-es neutron sugárzásnak tette ki és ezzel beporozta a recesszív /bz/ állományt. A betakarítás után az F₁ növények szemén - az endospermium színeződésének változása alapján Bz-től bz-ig határozták meg a mutáció gyakoriságát, figyelmen kívül hagyva a fenotípusbeli megnyilvánulást. A Bz gén, amelyik a IX. kromoszómán van lokalizálva, meghatározza az endospermium bronz színét. Ha az egész endospermiumnak megváltozik a színe, akkor teljes a mutáció, ha csak egyes elhatárolt részeken jelentkezik a színváltozás, akkor részleges a mutáció.

A virágporszemeknek /pollen/ neutron sugárzása esetén nem tapasztalt különbséget az egyszeri azonos dózisu és a frakcionált kezelés között, úgy mint a gamma sugárzásnál. Jól mutatják ezt az 1. táblázat adatai.

1. táblázat

Összefüggés a mutáció gyakoriság és a frakcionáltan alkalmazott gamma és 14 MeV-es gyors neutron sugárzás között, kukorica pollenek kezelése esetén
/T.FUJII,1978/

K e z e l é s			Mutáció
Első dózis	Szünet	Második dózis /rad/	gyakoriság %
Kontroll	-	-	0
Gamma sugárzás			
1260	-	-	2,25
630	30	630	2,30
630	60	630	1,99
630	120	630	1,62
Neutron sugárzás			
600	-	-	3,34
300	30	300	3,01
300	60	300	3,13
300	120	300	3,04

Az 1.sz. táblázat eredményeiből megállapítható, hogy gamma besugárzás esetén 1260 rad-nál 2,25 % volt a mutációs gyakoriság és hasonló volt a két adagban 30 perces időközben adott 630-as rad-nál. Viszont csökkent a gyakoriság akkor, ha a megszakítási időközöket 60 és 120 percre növelték.

A gyors neutronos kezeléseknél a mutációs gyakoriság lényegében nem változott az egyszer adagolt 600 rad-dózis és a két részletben 30, 60 és 120 perces időközökben adagolt 300-300 rad-dózis esetében sem. A gyors neutronokkal megismételt kísérletekben frakcionált sugárzással, 120 perces szünetek közbeiktatásával három különböző dózist alkalmaztak 250 és 641 rad között. A mutáció gyakorisága a kezelt kukorica pollen esetében - lineárisan emelkedett az alkalmazott dózissal megfelelően, mind az egyszeri, mind a frakcionált kezelések esetében. Szignifikáns különbség, a mutáció gyakoriságát illetően a frakcionált és állandó kezelés között nem fordult elő /1. ábra a és b része/. Nagyon érdekes megjegyezni, hogy a pollenkezelés esetén gyors neutronok hatására sokkal magasabb a mutációs gyakoriság, mint a magkezelések esetén.

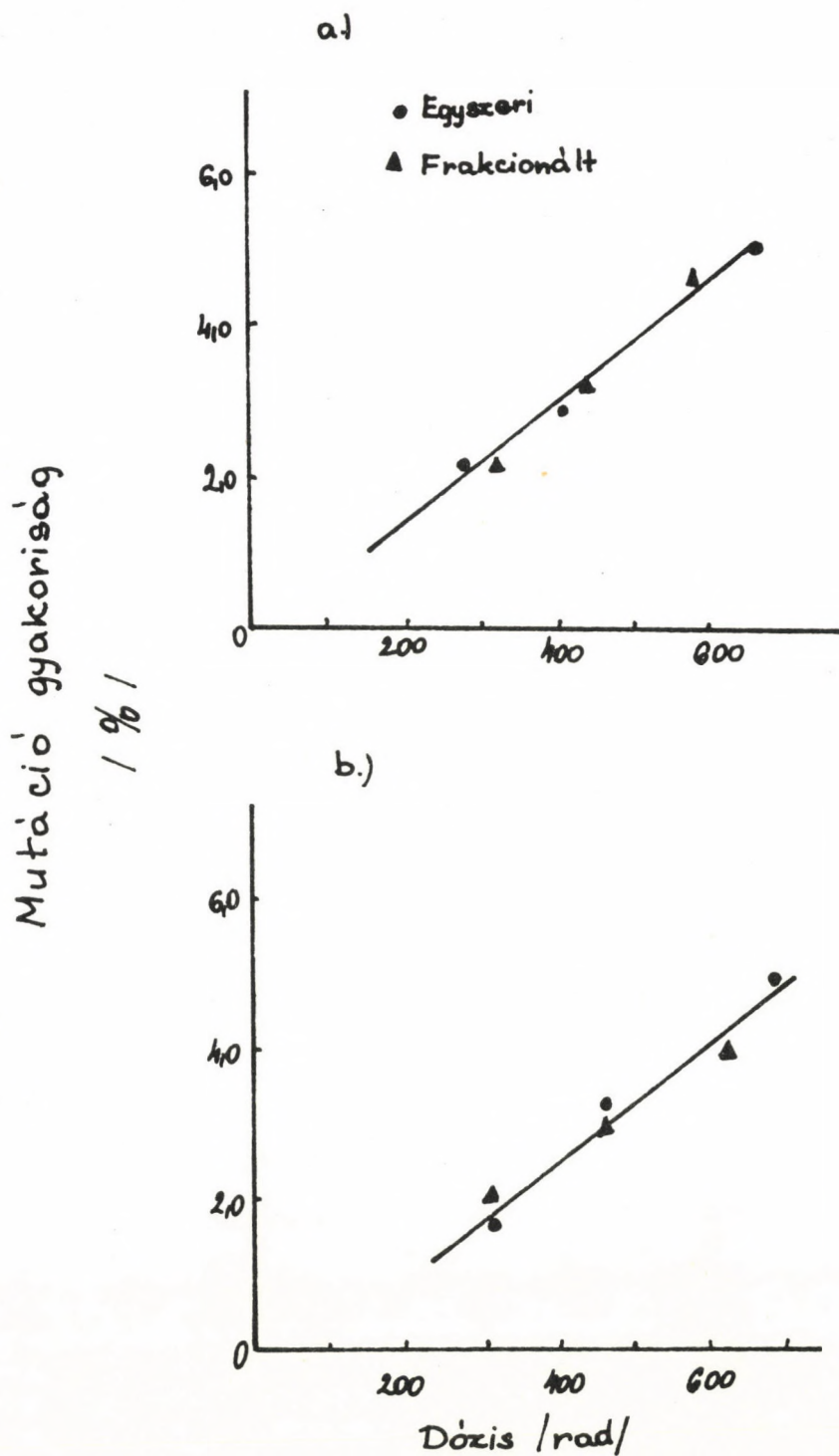
Ugyancsak FUJII /9/ 13 %-os nedvességtartalmu kukorica szemeket és 24 óráig szobahőmérsékleten, vízben duzzasztott szemeket sugárzott be 14 MeV-es neutron és ^{137}Cs forrásból származó gamma sugarakkal. Ötven szem képezett egy kísérleti csoportot. A kísérleti anyag Yg_2/yg_2 allélekre heterozigóta kukorica törzs volt. Az Yg_2 génre /IX. kromoszóma/ heterozigóta magvakat kezelték és ezek növényeit keresztezték az yg_2 génre homozigótákkal.

A kapott magvakat steril talajba vetették. A mutáció gyakoriságát Yg_2 -től az yg_2 -ig a gének által okozott színváltozás alapján mutatták ki a fiatal növények levelein, amely a zöldtől a sárgászöldig változott. A szomatikus mutáció csikokban jelentkezik a levél felszínén. Ahol a sárgászöld sávok általában a levélke negyedrésszén jelentkeztek, ezt a fenotipusos bélyeget használták a mutációs gyakoriság meghatározására. A gamma sugárral kezelt duzzasztott magvaknál a mutáció gyakorisága kb. másfélszer nagyobb volt, mint a száraz magvaknál. A neutron sugárzásnál nem volt kimutatható különbség a nedvesített és száraz magvak kezelése között.

Számos kísérlet alapján megállapítható, hogy a neutron sugárzás hatása kevésbé befolyásolható a besugárzás körülményeivel vagy a környezeti hatásokkal.

Itthoni tapasztalatok szerzése céljából 1979. évben különböző beltenyésztett kukorica vonalak pollenjét 500-600 keV-es elektronokkal illetve 14 MeV-es neutronokkal kezeltük az ATOMKI-ban BORNEMISZA GYÖRGYNÉ és SCHLENK B. közreműködésével.

A kapott terméseredmények alapján megállapítható, hogy azonos dózis esetén a 14 MeV-es neutronokkal kezelt pollennel megtermékenyített növények csövein több kukoricaszem képződött. Pl. az RDS-3722-es jelzésű vonalunk 1 Krad-al 500-600 keV-es elektronok esetén kezelt pollenjeitől a csöveken átlagban 4-21 szem a 14 MeV-es neutronokkal kezelveknél 116-124 szem képződött. A 1,5 Krad kezelésűeknél a képződött szemek száma a kétféle kezelés hatására 18-32 illetve 86-137 volt. Hasonlót tapasztaltunk a C-103-as beltenyésztett vonalnál is. 500-600 keV-es 0,5 Krad esetén a képződött szemek száma 20-30, a 14 MeV neutronokkal kezelveknél 194-320 volt.



1. ábra

A DÓZIS ÉS A MUTÁCIÓ GYAKORISÁG KÖZÖTTI KAPCSOLAT A KUKORICA POLLENEK 14 MeV-es NEUTRONOKKAL TÖRTÉNT EGYSZERI ÉS FRAKCIONÁLT BESUGÁRZÁSA ESETÉN /T.FUJŰ szerint, 1968./

a. 120 perces szünettel

b. 180 perces szünettel

Az 1,0 Krad-al kezeltéknél 75-145 elektronok esetén, illetve 116-290 neutronbesugárzás esetén volt a csövön képződött szemek száma. Mivel a gyors elektronokkal történő besugárzásnál a target vakum kamrájában kellett a pollenszemeket elhelyezni, ezért megvizsgáltuk, hogy a vakuum térben elhelyezett kezeletlen pollennek termékenyítőképességét néhány perces vakumos kezelés mennyiben befolyásolja. Azt tapasztaltuk, a vakuum nincs káros hatással a pollenszemekre. Az utóbbi esetben a gyors elektronok hőhatását is vizsgáltuk, de azt elhanyagolhatónak találtuk.

III. A CIKLOTRON ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A RADIOMUTÁCIÓS NEMESÍTÉSBEN

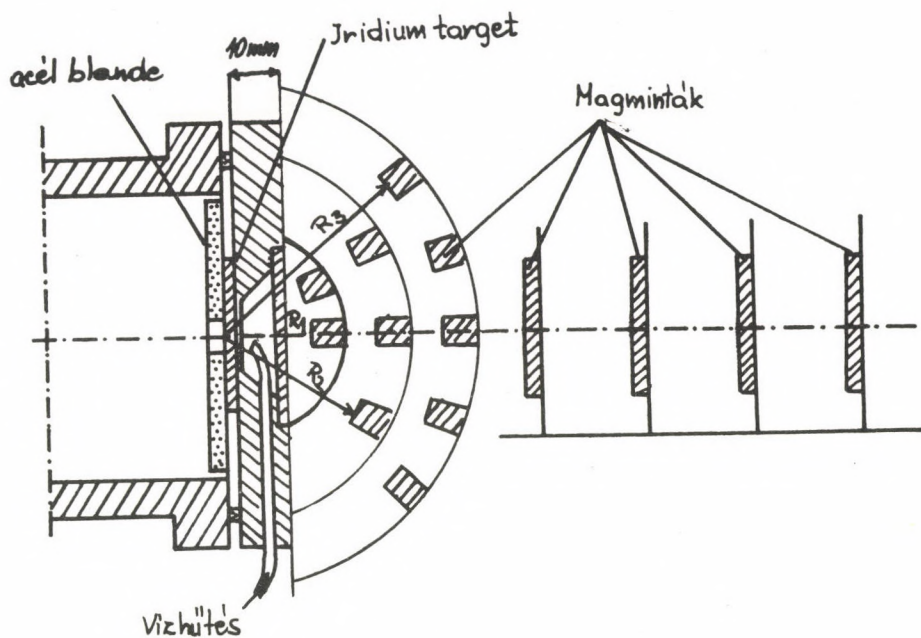
Az 1985-ben felépülő U-103-as ciklotron mezőgazdasági vonatkozású alkalmazási lehetőségeire jó példával szolgálhatnak a krakkói U-120 ciklotronban végzett eddigi kutatások eredményei, mivel a kutatások az ATOMKI-ével azonosnak mondhatók, ciklotronnal és neutrongenerátorral történtek /16,17,18,29,34/.

A vizsgálatokban kontrollként Himalája árpafajtát használtak, amelyet a Domaz lengyel fajtaival is összehasonlítottak.

A magokat a besugárzás előtt két hétig 60 %-os glicerol vizes oldatában tartották azért, hogy a mag nedvességtartalma optimális legyen. Ezt a módszert az NAÜ ajánlja, mivel a 13 %-os nedvességtartalmu magok kevésbé érzékenyek az oxigén effektusra.

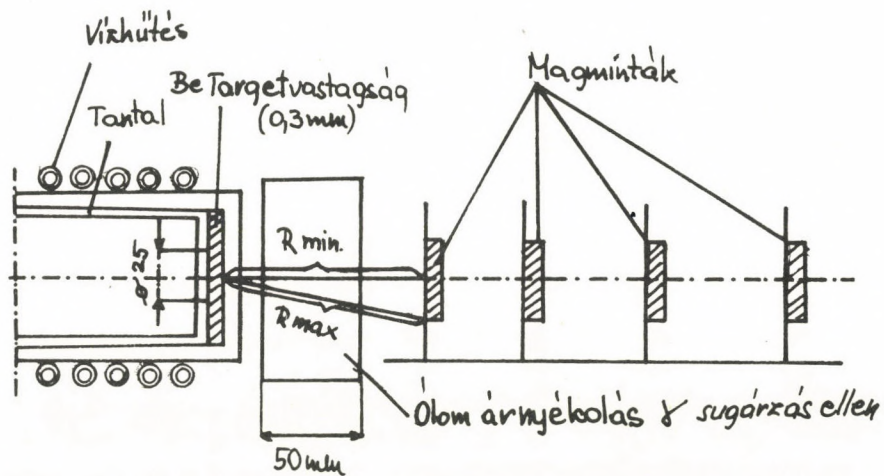
A kezelésre szánt magokat neutron generátornál a 2. ábra szerint a Be targetnál a 3. ábra szerint helyezték el.

A Be targeten pontszerűnek tekinthető a neutron forrás, így a neutronok cm^2 -kénti száma illetve a Rad dózisa a távolsággal négyzetesen csökken. A teljes dózis az adott távolságban két paramétertől függ: a távolságtól és az ionnyaláb intenzitásától. A targetre eső ion töltés ismerete elegendő volt a dózis meghatározására. A besugárzásnál esetleg fellépő hibaforrásokat aktivációs módszerrel tudták ellenőrizni, mégpedig úgy, hogy a mintákkal együtt réz és kén lemezeket is besugároztak /16/. Azért, hogy más szerzők reaktorban nyert eredményeikkel összehasonlítási alapjuk legyen, felhasználták a biológiai dózis kontrollt, amelyre standarként a Himalája árpát alkalmazták. Ennek besugárzási érzékenységet gyors neutronokra reaktorban a FAO/IAEA program keretében korábban megvizsgálták /31,32/. A krakkói U-120 ciklotronban a $^9\text{Be}/d,n/^{10}\text{B}$ magreakcióból származó neutronokkal két sorozat Himalája árpát és három sorozat Damaz-féle lengyel árpát, továbbá az egy sorozat CIANO búzát, a $^9\text{Be}/\alpha,n/^{12}\text{C}$ neutronokkal Himalája árpát, egy sorozat Damaz árpát továbbá egy sorozat CIANO búzát, a 14 MeV-es neutronokkal egy sorozat Himalája árpát sugároztak be.



2. ábra

A minták elhelyezése a neutron generátornál



3. ábra

A magminták sematikus elhelyezése a Be targetnél az UT-120-as ciklotronban

/Megjegyezzük, hogy a 12,5 MeV-es neutronok esetén a 0° -ban kilépő neutronok közepes energiája 5,5 MeV volt./

Összesen hat különböző besugárzást végeztek a Ciklotonnal, és egyet neutrongenerátorral. A mezőgazdasági hasznosság szempontjából a FAO/IAEA ajánlását elfogadva, a hatást a besugárzott magokból termesztett növények első levél méretének csökkenésével mérték, összehasonlítva ezt a be nem sugárzott kontroll növényekével.

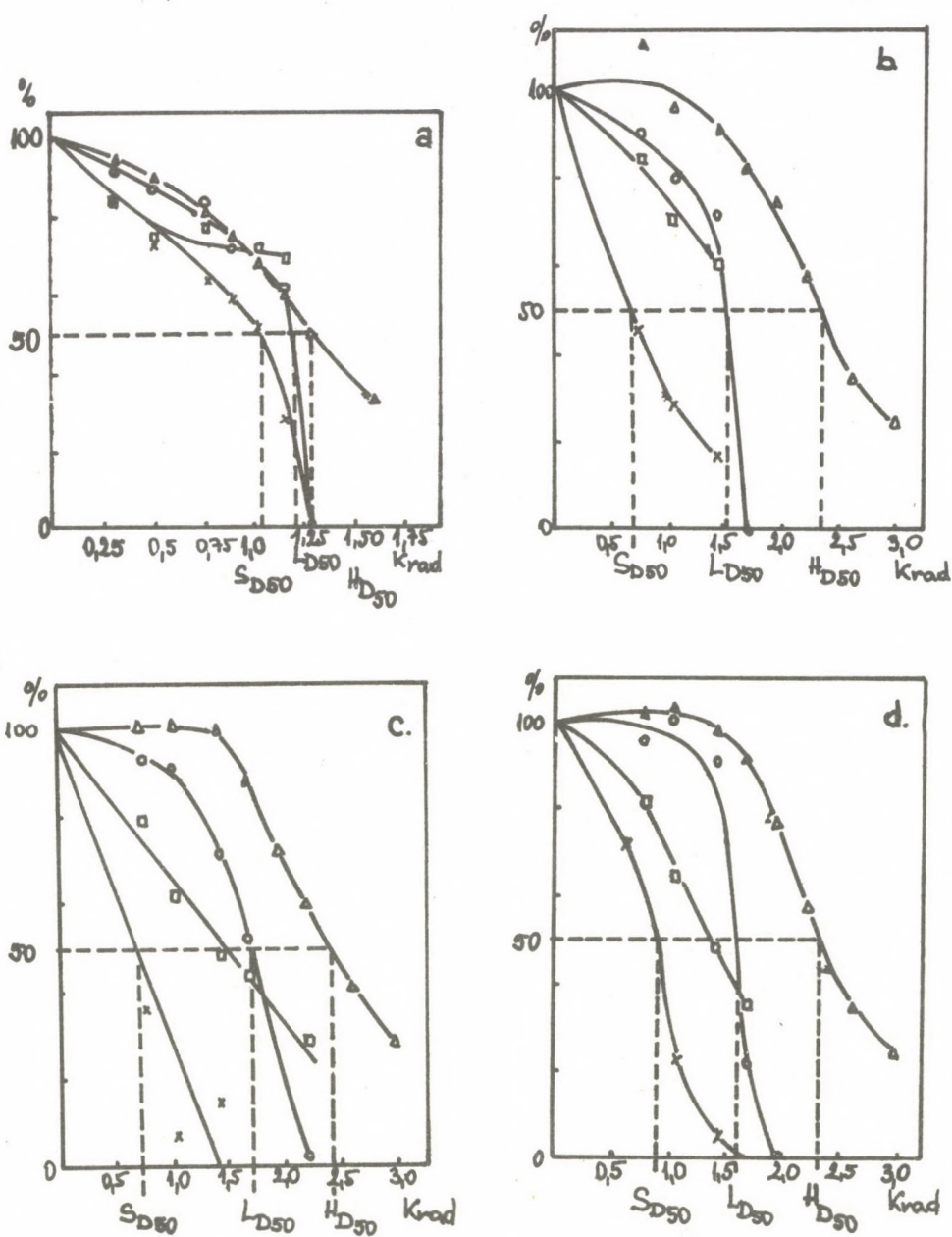
A magokat csiráztható papíron helyezték el deszt.vizben, vegetációs kamrában $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ -on 100 %-os nedvességtartalmu levegőben. A méréseket az árpa magok esetében 6 és 9 nap után, a buza esetében 7 és 10 nap után végezték. A Himalája és a Damaz árpafajtánál a növekedés csökkenése azonos neutron dózis esetében majdnem azonos volt. A CIANO buza fajtánál megállapítható volt, hogy az árpához viszonyítva a besugárzási érzékenysége kb. kétszer kisebb. Az U-120 ciklotron illetve neutron generátor használhatóságát növényi magvak besugárzására az a körülmény határozza meg, hogy milyen dózisonál érhető el az 50 %-os növekedés csökkenés. Ez az a maximális dózis, ami még a növénytelenítés céljára használható mutánsok kiváltására esetleg használható. Ez a maximális dózis GAUL /10,11/ szerint röntgen besugárzásnál 50 %-os növekedés csökkenésnél a magoknak csak 20 %-a maradt életképes. Sok szerző szerint ez az optimális dózis a mutációk létrehozásához.

A lengyel Damaz árpa ugyanazt az érzékenységet mutatta, mint az NAÜ /Nemzetközi Atom Ügynökség/ által kontrollált Himalája árpa. A későbbi vizsgálatok során a Damaz árpát használták kontrollként.

A 4. ábrán négy árpafajtának a sugárérzékenységet mutatjuk be. Az ábra igen jól szemlélteti a gabonafajták viselkedését a neutron sugárzás hatására.

A kísérletek alapján megállapították, hogy 50 %-os növekedés csökkenés az árpa esetében a $^9\text{Be}/d,n/^10\text{B}$ reakcióval az U-120-nál besugározva 20 cm-el a targettől 3/uA-es ionárammal 120 perc alatt érhető el. Ez 1000 Rad-nak felel meg, hasadási neutronokra vonatkozóan, amit a FAO/IAEA programon belül mértek. A $^9\text{Be}/d,n/^10\text{B}$ reakcióból származó neutronok hozamának növelésére a magmintákat 6 cm-re helyezve el a targettől elérhető volt, hogy az U-120-al a neutron dózis erőssége 4 Rad/sec legyen. A $^9\text{Be}/\alpha/^12\text{C}$ reakció esetében a maximális dózis az előbbinek csak az 1/3-a. Termolumineszcenz doziméterrel mérték a háttér gamma sugárzást, általában 130 Rad volt abba a pontban, ahol a gyorsneutron dózist 1000 Rad-nak találták, tehát elhanyagolhatónak tekinthető a gamma háttér. A minta és target közé 5 cm. -es ólomárnyékolást is alkalmaztak.

A neutron generátornál ahhoz, hogy egy olyan dózist érjenek el, ami mellett a Himalája árpa növekedés csökkenése 50 %-os legyen, a targettől 2,5 cm. távolságra, 8 órai besugárzás volt



4. ábra

NÉGY GYORSNEUTRONOKKAL BESUGÁRZOTT GABONA FAJTÁNAK
SUGÁRÉRZÉKENYSÉGE /HUCZKOVSKI, 1974/

a. Damazy árpa, b. Santa Cathalina buza,
c. Cianó buza, d. Inia buza

A kontroll %-ában viszonyítva:

- Δ = növekedési magasság csökkenése, O = a betakarítás előtti növények magassága, X = a megtermékenyülés nagysága,
 \square = a növény magasság csökkenése

szükséges, ami alatt a T-target teljesen elhasználódott. Az atomreaktorokban és ciklotronnál történő besugárzások eredményeit összehasonlítva, az utóbbi látszik előnyösebbnek. A ciklotronnál a neutronok közepes energiája háromszor olyan nagy, mint a reaktor neutronoké. Továbbá figyelembe kell venni azt is, hogy reaktoroknál 1000 Rad neutron dózis esetén sokkal nagyobb háttér gamma dózissal kell számolni.

Az irodalmi adatok alapján /9,16,17,29,34/ megállapítható, hogy a mezőgazdasági hasznosítás céljából a ciklotronnal sokkal kedvezőbb körülmények között lehet besugározni, - még nagy kiterjedésű növényeket is - mint a reaktorban.

Az U-120 deuterium nyalábját sugárcsővön egy kb. 50 m^2 target helyiség közepébe vezetve, olyan neutron teret tudtak létrehozni, mint egy nagy kobalt - 60 gamma forrás körüli gamma tér. Ebben a térben 2 m-re a targettől, 12 Rad/óra gyors neutron dózis volt elérhető /16/.

Szeretném megemlíteni, hogy az előkísérletek, valamint az apróbb magvak, illetve pollenszemek besugárzása céljából a neutron generátor továbbra is jól használható, de olyan mezőgazdasági alapkutatásoknál is alkalmazható, amelyek segítségével meg tudják állapítani a különböző energiájú neutronok hatását a növényi magokra, illetve pollenszemekre. Ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyni a ciklotronénál jóval olcsóbb üzemeltetési költségeket.

Összefoglalóan úgy vélem, hogy a ciklotron nagy energiájú és intenzitású neutronforrásként használva jó lehetőséget kínál a mezőgazdasági kutatások vonalán is. Remélem, hogy az ATOMKI által kínált lehetőségeket nem a túl távoli jövőben tudjuk majd hasznosítani a sugárgenetikai kutatások és a radiomutációs nemesítés területén.

I R O D A L O M

- 1./ BARADJANEGARA, A.A., FUJII, T., AMANO, E.: Effects of Gamma-rays and Neutrons on the Seedling and Callus Growth in Rice Seeds. Radioisotopes. Vol.25.No 4. /1976/ 210-214
- 2./ BÁLINT A.: Heterózis és mutáció a kukoricában. Akadémiai Kiadó, Bp. /1967/, 182.
- 3./ BACQ, Z.M., ALEXANDER, D.: Fundamentals of radiobiology. New York. /1955/, Acad. Press 389.
- 4./ BRIGGS, R.W.: Radiation types and sources. /In Manual on Mutation Breeding/ IAEA, Vienna, /1970/ 9-21.
- 5./ BROERTJES, C.: Application of Mutation Breeding Methods in the Improvement of Vegetatively Propagated Crops. Elsevier Sci.P. Comp. Amsterdam and New York /1978/ 296.
- 6./ BRUNNER H., MIKAELSEN K., LUSE R.A.: Proceedings of a Panel on Radiobiological Applications of Neutron Irradiation. IAEA, Vienna /1971/ 6-10. December, 81.
- 7./ CALDECOTT, R.S.: Ionizing radiation as a tool for plant breeders. A./Conf.8./P/101.Proc.12, 40-45 /1955/
- 8./ EHRENBERG, L.: Mutation Studies with radioactive isotopes. /In Radioisotope Techniques/ London, Her Majesty, s Stat. /1953/ Off. 1 452-461.
- 9./ FUJII T.: Studies in Neutron Mutagenesis in Maise Effects of Dose Fractionation and Cell Moisture Status on Mutation Induction. Radioisotopes /1978/ Vol.27. No.11. 642-647.
- 10./ GAUL H., FRIMMEL G., GICHNER T., ULONSCA E.: Efficiency of Mutagenesis. Induced Mutations and Plant Improvement. IAEA Vienna /1972/ 75-91.
- 11./ GAUL H.: Mutations in Plant Breeding. Radiation Botany. /1964/ Vol. 4. 155-232.
- 12./ GLUBRECHT, H., HAMMAN, H.J.: Neutron Irradiations of Seeds II. Report IAEA, Vienna /1968/ 131.
- 13./ GREEN, C.E., PHILLIPS, R.L.: Potential Selection System for Mutants with Increased Lysine, Threonine and Methionine in Cereal Crops. Crop Science /1974/ Vol.14. 827-830.

- 14./ GREGORY,W.C.: The comparative Effects of Radiation and Hybridization in Plant Breeding. Proc.1.st.Intern. Conf. Peaceful uses. Atomic Energy /1955/ 12. 48-51.
- 15./ HENTRICH,W.: Mutációk előidézése radioaktív izotópokkal a növénytermesztésben. Atompraxis.VII./1964/ Jena 315-323.
- 16./ HUCZKOWSKI,J.: Badania nad zastosowaniem cyklotronu U-120 i generatora predkich neutronow do radiocynego indukowania mutacji u roslin. Hodowla Roslin Aklimatyzacja i nasiennictwo /1973/ Tom.17.Zesyt 3.146-159.
- 17./ HUCZKOWSKI,J.,GACEK,E. WOJCIECHOWSKI,H.: Use of Cyclotron as a Fast Neutron source in Plant Breeding and Genetics. Repr.from Biological Effects of Neutron Irradiation. IAEA,Vienna /1974/ 49-57.
- 18./ HUCZKOWSKI,J.,KRASNIWOLSKI,S.,LAZARSKA,B.,PROCHNICKA,A.,WOJCIECHOWSKI,H.: Application of the Cyclotron for determination of protein content in the seeds of Cereals. Newsletter, /1976/ 6. 15-20.
- 19./ KONZAK,C.F.,WICKMAN,M.Irene.,DeKOCK,M.J.: Advances in Methods of Mutagen treatment. Induced Mutations and Plant Improvement. IAEA,Vienna /1972/ 95-117.
- 20./ KONZAK,C.F.,MIKAELSEN,K.,SIGURJÖRNSSON,B.,BURTSCHER,A.: Neutron Irradiation of Seeds. Report IAEA, Vienna /1967/ 103.
- 21./ MIKAELSEN,K., KRAMER,J.: Effects of Water Content, Oxigén and Metabolic State on Genetic Effect of Fast Neutrons and Gamma Radiation of Barley Seeds. IAEA, Vienna /1969/
- 22./ CIKE,A.: Manual on Mutation Breeding. IAEA,Vienna /1970/ 126.
- 23./ MICKE,A.,SMITH,H.H.,WOODLEY,R.G.,MASCHK,A.: Rad.Research /1964/ Vol.33.537.
- 24./ PÁSZTOR K.: Effect of mutagens on the variability of morphological characters of maize. Acta Agronomica Sci.Hungaricae /1978/ 27. 481-488.
- 25./ PÁSZTOR K.: Applicability of morphological maize mutants in Plant Breeding. Acta Agronomica Academiae Sci. Hungaricae /1979/28.452-458.
- 26./ PAWAR,S.E.,THAKARE,R.G.,JOSHUA,D.C.: Relative Effectiveness and Mutagenic Efficiency of Fast Neutrons in Cajanus Cajan. Indian Journal of Experimental Biology.Vol. 16,/1978/ 656-659.

- 27./ PARNEL, C.J.: Neutron Dosimetry in Biology and Medicine
/Proc.Symp.Neuherberg, 1972/ Rep.EUR-4896 afe /1972/
783.
- 28./ SIMON J.: Sugárforrások alkalmazása a mezőgazdasági kutatásban és termelésben. Irodalmi összefoglaló, Országos Atomenergia Bizottság. Izotóp Intézet /1965/
25.kiadás 55.
- 29./ PRZYBYLA, A., HUCZKOWSKI, J.: Studies on the use of Fast Neutrons in Apple Mutational Breeding. Fruits Science Reports /1978/ Vol.5.No.2.2.-6
- 30./ SACRASCIA-MUGNOZZA, G.T.: Induced mutations in breeding for lodging resistance. Comitato Nazionale Energia Nucleare. Roma, Casaccia /1964/
- 31./ SMITH H., A.: Relative biological effectiveness of different types of ionizing radiations cytogenetic effects in maize In: Mechanism of mutation and inducing factors. Academia Pragua /1966/ 179-182
- 32./ SMITH H.H.: Comparative Genetic Effects of different Physical Mutagens in Higher Plants. Induced Mutations and Plant Improvement, IAEA Vienna, /1972/ 75-91.
- 33./ TROICKI, N.A.: Sovremennye Problemy Radiacionno Genetiki /1969/ Atomizdat, Moszkva
- 34./ WOJCIECHOWSKI H., HUCZKOWSKI J., GACEK E., KRASNOWOLSKI ST., SZYMUSIK B., KASPER E.: The U-120 Cyclotron as a Fast Neutron source for Irradiations of Biological Objects. /Sec.Symp.on Neutr, Dosym.in Biol. and Med./ NEUHERBERG /1979/ sept.30-oct.4. 389-396.

LINEÁRIS ELEKTRONGYORSÍTÓ BERENDEZÉS ALKALMAZÁSA A SZIGETELŐANYAG-GYÁRTÁSBAN

BARANOVICS PÁL - SZŐCS GYULA

Villamosszigetelő és Műanyaggyár, Budapest

A Villamosszigetelő és Műanyaggyár a magyar népgazdaság egyik legnagyobb és legrégebbi műanyagfeldolgozó vállalata. 1883-ban alakult és 1928-ig kábeltermékek gyártásával foglalkozott. 1928-tól egyéb villamosipari és közszükségleti cikkek, 1934-től hanglemezek gyártásával bővült a gyártmányválaszték. A vállalat jelenleg a gépipar műanyagfeldolgozó bázisa, három gyárában - a budapesti gyár mellett Kiskunfélegyházán és Kiskördán - közel 3000 dolgozóval évi 1,6 milliárd Ft termelési értéket állít elő. A Villamosszigetelő és Műanyaggyár a Kohó- és Gépipari Minisztérium alá tartozó vállalatok műanyag alkatrész igényének kielégítése mellett bekapcsolódott a gépjármű gyártási programba fék- és kapcsolótárcsa, valamint akkumulátor tartozékok gyártásával, és a lakásépítési programba különféle extrudált és fröccsöntött villamosszerelési anyagok széleskörű gyártásával. A vállalat fejlesztési célkitűzéseit a Magyar Szocialista Munkáspárt Központi Bizottsága 1977. októberi határozatában rögzített irányelvekkel összhangban dolgozta ki, melynek fő célkitűzései:

- a termelékenység növekedése az automatizálás széleskörű kiterjesztésével,
- új, eddig nem alkalmazott technológiák bevezetése,
- széleskörben exportálható termékek alkatrészeként a gyártmányok választékának bővítése,
- a műanyag alkatrészek felhasználási körét bővítő alkalmazástechnikai munka fejlesztése.

E fejlesztési célkitűzéseknek megfelelően vállalkozott a vállalat a hőre zsugorodó kábelszerelvény-gyártás bevezetésére és ennek jelentős állomásaként 1979. I. 31-én elkészült és üzembe helyezték Magyarországon az első ipari jellegű gépi besugárzó üzem, melyben a leningrádi Jefremov Intézet LUE-8-5 V. típusu elektrongyorsító berendezése került felállításra.

Mi tette szükségessé az üzem létrehozását?

A villamosiparban évek óta megoldásra váró feladat a kábelszerelési munkák korszerűsítése. Ezért a Magyar Kábel Művek megbízásából a Műanyagipari Kutató Intézet (MÜKI) már közel 10 év-

vel ezelőtt széleskörű kutatómunkába kezdett a kizárólag tőkés importból beszerezhető, hőre zsugorodó szerelési anyagok gyártási technológiájának kifejlesztésére. A Műanyagipari Kutató Intézet javaslata alapján 1975. szeptemberében a Villamosszigetelő és Műanyaggyár a hőre zsugorodó kábelszerelvények ipari gyártásának megvalósítására műszaki-fejlesztési szerződést kötött a Kohó- és Gépipari Minisztériummal.

A Villamosszigetelő és Műanyaggyár műszaki fejlesztési feladata - a piaci igények részletes megismerése alapján - a gyártmánycsalád kialakítása, a különleges gyártóeszközök és üzemi technológiák kifejlesztése volt, különös tekintettel a legkorszerűbb technológia, az elektronbesugárzás nagyüzemi alkalmazására.

A hőre zsugorodó tulajdonság speciális szerkezetű műanyagok un. emlékező effektusán alapszik. Ennek lényege, mint ismert, az, hogy a gyártáskor "befagyasztott" nagymértékű deformációhoz tartozó feszültségeket felhasználáskor melegítéssel felszabadítva, a műanyag tárgy a deformáció előtti (eredeti) alakját igyekszik visszanyerni. Az effektust adó speciális anyagszerkezet fő jellemzője: **meghatározott mértékű térhálósság és kristályos fázis egyidejű jelenléte**. Ennek megfelelően a kiindulási alapanyagok elsősorban polietilén és kopolimerjei, valamint különféle elasztomerek, PVC, ill. ezek változatos kombinációi.

Az anyagszerkezet módosítása során - amelynek lényege tehát a térhálósítás - az eredetileg hőre lágyuló műanyagok olyan alapvető tulajdonságai is nagymértékben megjavulnak, mint pl. a hőállóság, hidegállóság, feszültségkorrózióval szembeni ellenállás. Így végeredményben a kommersznek tekintett műanyagok magas használati értékű anyagokká válnak. Átlagos műszaki értéküket igazolja, hogy kifejlesztésüket eredetileg a repülőgép-, a haditechnikai iparok és az űrhajózás serkentette, és még ma is ezek a legnagyobb felhasználási területek. Ugyancsak jellemző mutató, hogy a polietilén-alapu zsugorodó termékek világpiaci árai 30-70 \$/kg körül vannak.

A jelenleg ismert hőre zsugorodó termékek szinte minden esetben burkolatként kerülnek alkalmazásra, amelyek feladatai a következők lehetnek:

- villamosszigetelés,
- mechanikai védelem,
- folyadék, ill. gáz áthatolás elleni védelem (tömítés, korrózió és más kémiai behatások elleni védelem)

Megjelenési formájuk szerint a zsugortermekek lehetnek:

- csövek
- idomok (sajtolat v. fröccsöntött)
- extrudált profilok
- fóliák.

Az eltérő megjelenési formák természetesen eltérő gyártástechnológiát is jelentenek.

A hőre zsugorodó gyártmányok jelenlegi fő felhasználási területei hazánkban:

- villamosszigetelés a műszer- és híradástechnikai iparban, a háztartási és ipari villamos berendezésekben,
- erősáramú kábelek kötése, végelzárása és kijavítása 0,6-1 kV, ill. 6-35 kV-os tartományokban,
- csővezetékek, csőkötések, valamint egyéb fémtárgyak korrózió elleni védelme,
- légtechnikai vezetékek kötése.

Vállalatunk ez év októberében megkezdte az általános villamosszigetelési célokra használható ún. vékonyfalú zsugorcsonk sorozatgyártását, s 1980-ban a vastagfalú cső-család és a fröccsöntött idomokat is tartalmazó, 0,6-1 kV-os kábelkötő és végelzáró garnitúrák sorozatgyártására kerül sor. Fejlesztés alatt áll a csőkötések védelmére szolgáló nagyátmérőjű karmanthyuk, valamint speciális hírközlő kábelszerelvények gyártása.

A gyártmányok minőségének megtervezésekor minden esetben a legjobb nyugati termékeket vettük alapul. Gyártmányaink a felhasználók részére ugyanazokat a szolgáltatásokat nyújtják, mint a hasonló import termékek. Az importkiváltás értéke 1981-re eléri az 1 m \$-t.

A gyártás alapanyaga mint már említettük, kissűrűségű polietilén, amelyet a kívánt tulajdonságok biztosítására különféle más polimerekkel, stabilizátorokkal, égésgátlókkal, színezékekkel kell módosítani.

A gyártási technológiából ezen a helyen csak a besugárzásos térhálósítást emeljük ki.

Arra a kérdésre, hogy miért választottuk az elektronbesugárzást a válasz nagyon egyszerű: az adott feladat megoldására más, ténylegesen megvalósított, gazdaságos ipari eljárást nem ismerünk. A gyakorlat által is egyértelműen bizonyított érvek a szakirodalomból jól ismertek, ezek felsorolására most nincs módunk.

Alternativaként a klasszikus peroxidos kémiai térhálósítás kínálkozik, ennek gyakorlati megvalósítása azonban csövek esetében technikailag szinte alig megoldható és a besugárzáshoz mérhető egzakt folyamatvezetés nem érhető el. Mindamellet van olyan bonyolult geometriájú fröccsöntött vagy sajtolott idomok, amelyek térhálósítása kémiai úton gazdaságosabb.

Az alkalmazott sugárforrás, mint már említettük a szovjet gyártmányú LUE-8-5 V típusú, impulzus üzemi, lineáris elektrongyorsító, amelyet a hazai és nemzetközi sugárvédelmi előírásoknak és a technológiai igényeknek megfelelően tervezett épületben helyeztünk el. A berendezés kimenő teljesítménye 8 MeV mellett 5 kW.

A besugárzandó anyagok sugártéren való átszállítására jelenleg kétféle, saját fejlesztésű berendezés szolgál. A megfelelően hajlékony csöveket, automatikusan szabályozott, állandó húzóerővel az előkészítő térből és ugyanide visszatérően, a sugárkibocsátó ablak hossz tengelyével párhuzamosan, folyamatosan huzzuk át oly módon, hogy többszörös körbefuttatással a kb. 250x1000 mm-es besugárzott területet a két sorban futó csőszálak maximálisan betöltsék.

A másik berendezés egy önjáró kocsi, amely az ablak hossz tengelyére merőlegesen alternáló mozgást végez. A kocsin elhelyezhető maximálisan 1x3 m-es tálcán a darabos vagy ömlesztett jellegű anyagok széles köre, szakaszos módszerrel, besugároz-

ható. Ezenkívül a besugárzó épületblokk kialakítása lehetővé teszi egy konvektor-sor esetleges kiépítését is.

Az anyagelhelyezés jelenlegi sikjában a ténylegesen hasznosítható felületi dózisteljesítmény kb. 200-300 Mrad/óra, ami lényegesen alacsonyabb, mint az a hatékonyság szempontjából kívánatos lenne. Más szóval a LUE-8 elektrongyorsító feladataink széles spektrumához nem optimálisan gazdaságos. Átlagos termelékenysége jelentősen elmarad a világszínvonalat jelentő ipari célberendezésektől. Ebben egyébként nincsen semmi meglepő, mert a LUE-8 elsősorban kutatási célokra készült. Kiválasztását elsősorban az univerzalitás indokolta: bár a kívánatosnál alacsonyabb hatékonysággal, de végeredményben valamennyi fejlesztési és gyártási feladatunkat megoldhatjuk vele.

Középtávu terveinkben viszont már olyan 2-3 MeV-es 15-30 kW-os további gyorsítók beszerzése szerepel, amelyekkel mind kapacitásunkat, mind a besugárzás átlagos hatékonyságát a jelenleginek többszörösére emelhetjük, miközben a LUE-8-at fokozott mértékben a kutatás-fejlesztés szolgálatába állíthatjuk.

Ismeretes, hogy az elektrongyorsítók viszonylag bonyolult berendezések, amelyek üzemeltetése csak jól kvalifikált villamos szakember gárdával lehetséges, ezért nagy súlyt helyezünk a személyzet kiképzésére, a személyi állomány fejlesztésére is.

A jelenlegi besugárzó kapacitásunkat ugyan a hőre zsugorodó termékek gyártása lényegében leköti, de adott esetben nem zárkózunk el más célu besugárzási munkák elvégzésétől sem. Ugy véljük, hogy középtávu terveink végrehajtásával megalapozhatjuk azt a távlati célkitűzésünket, hogy létrehozzuk a sugárkémiai műveletek hazai ipari bázisát.

Elektrongyorsítók és különböző sugárforrások környezetvédelmi célú alkalmazása a szennyvizek és a fertőzött takarmányok fertőtlenítésénél

Simon József ^X - di Gleria Márta ^X - Klopfer Ervin ^{XX}

^XPHYLAXIA Oltóanyag és Tápszertermelő Vállalat

^{XX}MTA Központi Fizikai Kutató Intézete

Elnök Ur, tisztelt Kollégák!

A megnövekedett városi és ipari vízhasználat, az egyre tömegesebb nagyüzemi állattenyésztés ugrásszerűen növelte a kifolyó szennyvizek mennyiségét és kémiai, mikrobiológiai szennyezettségét, pedig ezek elkerülhetetlenül megtalálják útjukat a természetes és mesterséges vízfolyásokba vagy tározókba, ahol különböző mértékű szennyezést okoznak. Beszivárgás útján ezek a szennyező anyagok utat találnak a térszín alatti víztározó helyekre is. Az emberiség fejlődése nemcsak, hogy tulságosan igénybe vette a vízbeszerzési helyeket, hanem egyidejűleg be is szennyezte ezeket az életet adó artériákat.

A legésszerűbb megoldás az lenne a vízbeszerzés és vízszennyeződés problémája terén, ha a kifolyó szennyvizet ismételt felhasználásra tisztítanák. A technika haladása ezt már több vonatkozásban lehetővé tette. Számos adat van rá, hogy szennyvizből visszanyert, tisztított vizet hatásosan használtak fel papírgyártáshoz, üdülővezeték ellátására, környezetvédelmi célokra, öblítővízként, sőt még ivóvízként is. Ilyen berendezés működik Windhoek-ben, Délnyugat-Afrikában, hogy ne is említsük a hűtési célra vagy öntözésre kiterjedten használt vizet. De hasznosítani lehet az iszapfázist is, mégpedig elsősorban a mezőgazdaságban a talajerő visszapótlására, sőt takarmányként is.

Az újrafelhasználásnak alapvető feltétele, hogy az iszap vagy víz ne hordozzon sem fertőző mikroorganizmusokat, sem mérgező anyagokat, amelyek az újrafelhasználást károsan befolyásolnák.

Ehhez hatékony tisztítási folyamatokra van szükség, amelyek nagy mennyiségű energiát igényelnek és így a körbe is zárult; újra ott vagyunk az energia kérdésénél, mely meghatározója ennek a problémának is.

A szennyviz, szennyiszap és hígtrágya fertőtlenítésének témakörében egyre kérdésesebbé vált, hogy biztonságos-e a klórozással történő kezelés, vagy pedig a hőpasztörözés különösen ha figyelembe vesszük az újrafelhasználás lehetőségeit is. Az előbbinél a további vegyszeres szennyezés, utóbbinál a fokozott büzképzés jelent nehézséget és csirátlanító hatásuk is meglehetősen korlátozott. Emellett az is nyilvánvaló, hogy egyre emelkednek a vegyszerek és a hőenergia költségei.

A gamma besugárzással dolgozó izotóptechnika mellett, hirtelen nagy fejlődést mutatott az elektrongyorsítókkal történő gépi sugárkezelés technológiája, ahol az egyre nagyobb teljesítményű berendezések piacra hozatala csökkentette a besugárzás fajlagos költségét, egyben emelte a kitermelési kapacitást az üzemi méretű felhasználásban.

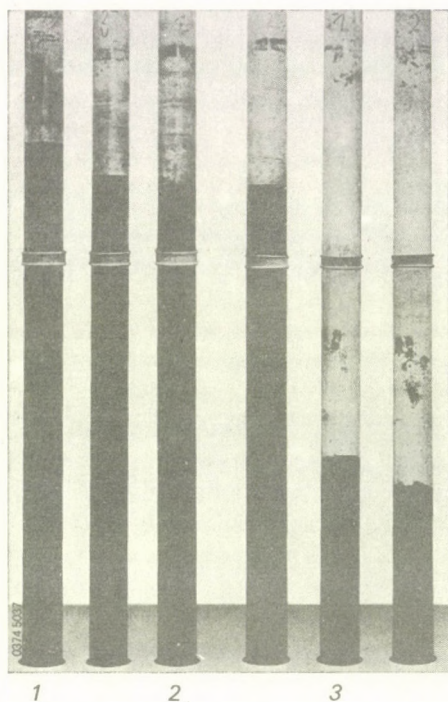
BALLANTINE - ennek a szakmának egyik nemzetközileg legismertebb művelője - állapítja meg, hogy a szennyvizkezelésben az elsődleges ülepítés kiszűri a nagyobb lebegő anyagokat; a biológiai kezelés csökkenti a biológiai és a kémiai oxigén igényt; a flokuláló szerek csökkentik az iszap mennyiségét és főleg gyorsítják ülepedését. A klórozás részben elpusztítja a káros mikroorganizmusokat, a harmadlagos kezelések pedig eltávolítják a megmaradt organikus és oldatlan anorganikus anyagokat.

Nagy naivitás volna azt hinni, hogy egyetlen önálló eljárás mint a sugárkezelés mindezeket a folyamatokat önmagában egyesíti és helyettesíti.

Mit tud ma mégis nyújtani a sugárzástechnika a szennyviz és higtrágya kezelésben? Erre ma már igen nagy tömegű külföldi és hazai adatunk van, s ezek alapján az alábbiak szerint csoportosíthatjuk az előnyöket /összevetve a vegyszeres és a hőkezeléses eljárásokkal/:

1. - A bűzképzés, levegőszennyezés sugárzástechnika alkalmazása esetén minimálisra csökken, vagy teljesen megszűnik.
2. - A korrodeálódás sokkal kisebb lesz a berendezésekben.
3. - Nagymértékben növekszik az ülepedés és a mechanikai vízleadás sebessége.
4. - Egyszerű az eljárás kivitelezése, személyzetet alig igényel.
5. - Az eljárás folyamatos.
6. - Az energiafelhasználás kb. 50-szeresen kisebb mint a hővel történő pasztörözésnél.
7. - Az eljárás során keletkezett szabad gyökök autooxidációs folyamatokat indítanak az organikus anyagok lebontása során, s ez nagyobb fertőtlenítő hatásához vezet; a patogén mikroorganizmusok számát 10^7 nagyságrendű csökkenéssel közömbösíti.
8. - Hőkezelésnél az iszap nagymértékben puffad, térfogata növekszik, így emelkednek a tárolási és szállítási költségek.
9. - Külföldi adatok szerint besugárzás hatására a szennyviz szerves nitrogéntartalma átalakul szerves nitrogénné. /Ez fontos lehet a mezőgazdasági hasznosításnál./
10. - Sugárzással lebonthatók különböző vegyszerek pl. a cianidok, a fenol, egyes peszticidek és a detergenssek is.
11. - Az iszapban lévő gyommagvak elvesztik csírázóképességüket így nem szaporodnak tovább és nem szennyeznek a környezetet.

Szennyiszap ülepedési sebessége
egységnyi idő alatt, különböző
kezelések hatására.



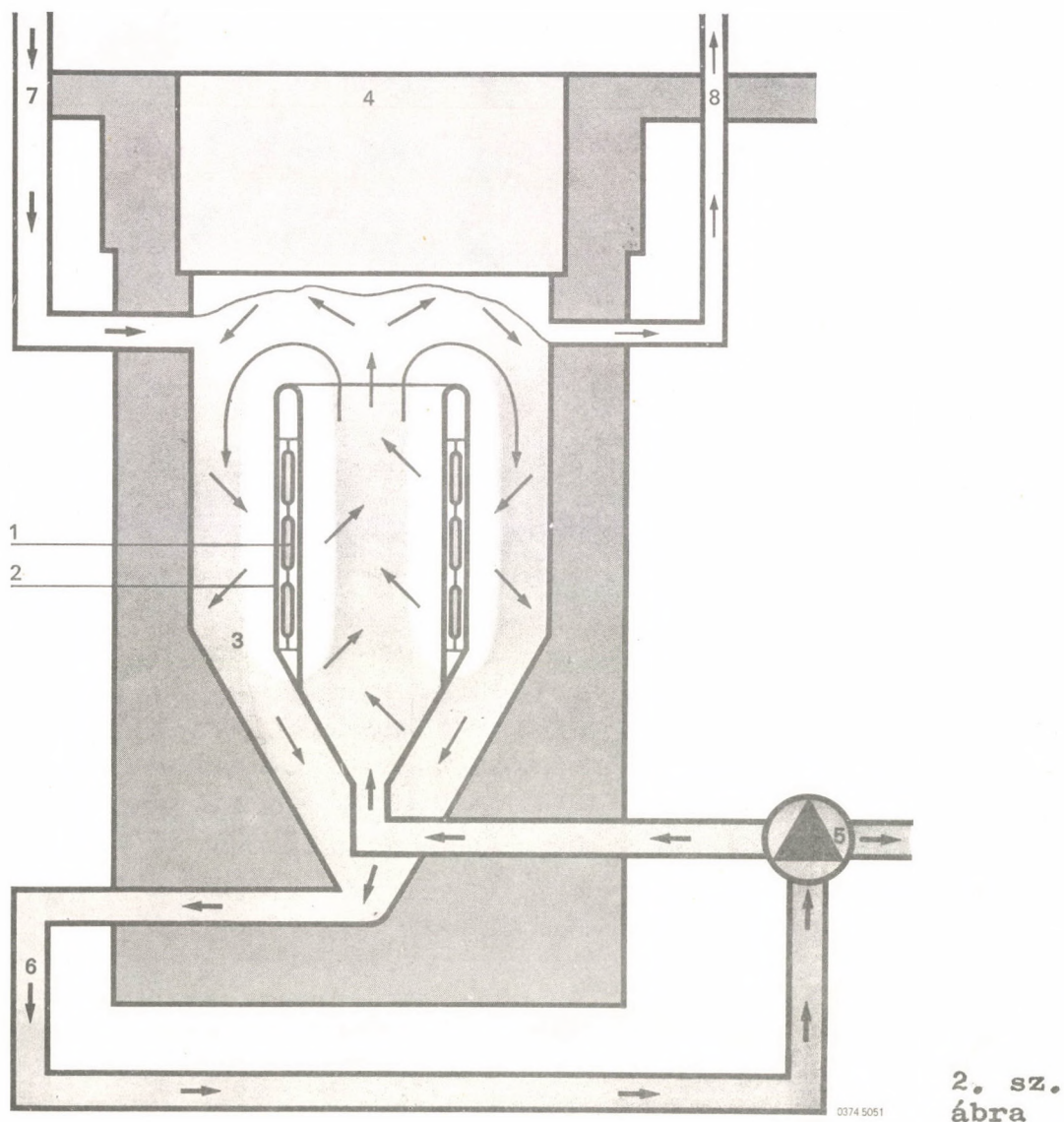
1. Kezeletlen iszap
2. Hőpasztörözött iszap
3. Sugárzással kezelt iszap

1. sz. ábra

Hátrányként jelentkezhet a valamivel nagyobb beruházási költség; a kezelő személyzet biztonsági körülményeinek megteremtése és a sugárforrások változó beszerzési lehetőségei.

A jelenleg működő két besugárzó berendezés /Geiselbul-lach-i gamma besugárzó és a Dear Island-i elektrongyorsítóberendezés/ gazdaságossági adatai, valamint egyéb amerikai és szovjet számítások és az általunk ezekben készített, elektrongyorsítóra alapozott tanulmányterv adatai is az alábbi képet mutatják:

Egy napi 700 m³ teljesítményű 1MeV/75 mA-es szenny-vizbesugárzó fertőtlenítő berendezés becsült létesítési költsége - forintban számolva és 1 kW-ra számítva - ilyen gyorsító esetében 696 eFt. Gamma besugárzónál viszont 6,212 eFt lenne. Ami az 1 m³-re eső költségeket illeti az is lényegesen kedvezőtlenebb a gamma besugárzóknál, hiszen ott 1 m³ kezelése mintegy 346 Ft-ba kerülne, gyorsítóval ez a költség 34,6 Ft. /Az alkalmazott dózis 4 kGy/



2. sz.
ábra

A München melletti Geiselbullachban 1973 júliusában helyezték üzembe a Co-60 gamma sugárzással működő iszapbesugárzót, mely 120 kCi aktivitással indult és naponta 30 m³ szeparált iszapot kezel 3 kGy dózissal. A kedvező tapasztalatok alapján az üzem aktivitását 350 kCi-re emelték. A költségszámítások szerint 1 m³ iszap fertőtlenítése 2,3 DM-be kerül /ha Cs-137 töl-
tettel dolgoznának akkor a költség 1,68 DM volna/. Az elektromos energiaigény m³-ként 5,2 kWó volt. A besu-
gárzott iszapot mezőgazdasági célú talajerőviisszapót-
lásra használják fel. /2. sz. ábra/
Az ábrán megfigyelhető az üzem felépítése, a sugárfor-
rások elhelyezése és a recirkulációs keringetés sémája
a föld alá elhelyezett besugárzó tartályban.

A szovjet KONKOV adatai szerint a biokémiai szennyviz tisztítás költsége 0.56 rubel/m³; besugárzással kombinálva ugyanezt a hatásfokot 0.45 rubel/m³ költséggel érték el. Általában a szinergikus kezelések jelentősége rohamosan fokozódik.

Az eddigi kutatási és gyakorlati tapasztalatok szerint 4 kGy sugárdózissal való kezelés biztonságos fertőtlenítést eredményez újrafelhasználási szempontból, átlagos helyzetben.

Hazai munkánk során eddig 1972-től végeztünk sugárzásos fertőtlenítési kísérleteket a kecskeméti városi szennyviz majd a Délpesit Szennyvitzisztítómu kommunális szennyvizének különböző frakcióival, a Fővárosi KÖJÁl és az Állatorvostudományi Egyetem Higiéniai Tanszéke szakembereivel együttműködésben.

Megvizsgáltuk a Bajai Mezőgazdasági Kombinátnál; a Fertődi Állami Gazdaság, az Agárdi Állami Gazdaság és a Hajduböszörményi Állami Gazdaság sertéstelepei higtrágyájának különböző hig és szilárd frakcióit is valamint Agárdon a tehénistállókból származó higtrágya sugárfertőtlenítési lehetőségeit.

1. sz. táblázat

Sertés higtrágyában /Fertődi ÁG. 1979/ mesterségesen elszaporított vírusok infektivitás-csökkenése /log₁₀ TCID₅₀/0,1 ml/ besugárzás hatására

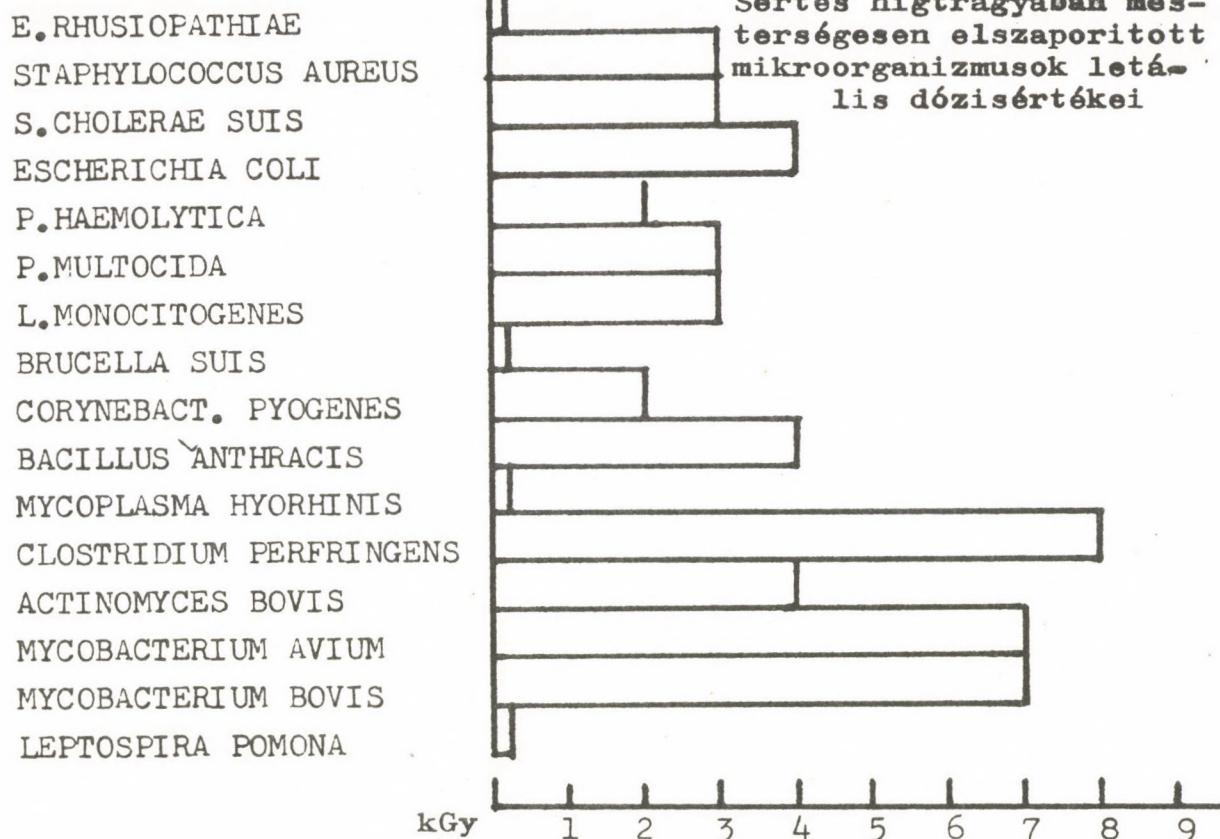
Vizsgált vírusok	Kontrol	Sugárdózis kGy	
		2	3
TGE-vírus	5,5	0,5	0,5
SzKF-vírus	5,0	0,5	0,5
SVD-vírus	8,0	6,0	1,0
Aujeszky-vírus	6,5	0,5	0,5
BVD-vírus	6,5	0,5	0,5

A vizsgálatokat a Phylaxia Radiációs és Környezetvédelmi Főosztálya és az Országos Állategészségügyi Intézet Virologiai Osztálya közösen végezték.

A virológiai vizsgálatok eredményei alapján bejelentési kötelezettség alá eső vírusos állatbetegségek esetén 30 kGy sugárdózissra van szükség a vírusok biztonságos elöléséhez a sertés higtrágyában.

MIKROORGANIZMUSOK

3. sz. ábra



A vizsgálatokat a Phylaxia Radiációs és Környezetvédelmi Főosztálya és az Országos Állategészségügyi Intézet Bakteriológiai Osztálya közösen végezték.

A vizsgált mikroorganizmusokat 4 kGy sugárdózis biztonsággal előli, kivételt képeznek a spórás Clostridiumok és a mycobacteriumok.

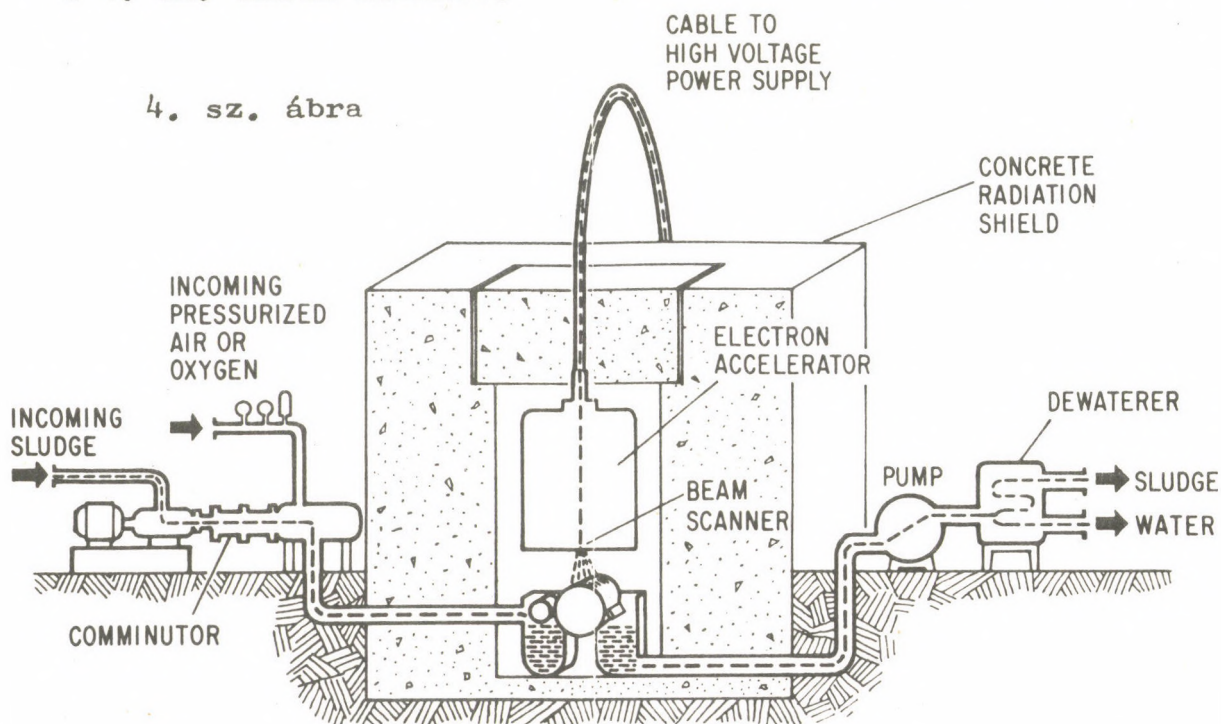
A mintegy hét évet felölelő előkészítő vizsgálatok eredményeként 1979-ben munkacsoportunk elkészítette egy többcélú, környezetvédelmi jellegű, elektrongyorsítóra alapozott besugárzó referencia üzem tanulmánytervét, mely napi 700 m³ higfázis fertőtlenítését tudná ellátni, kezdetben természetesen demonstrációs újrafelhasználási céllal és a módszer további kifejlesztése végett.

Ezekre a célokra leginkább 0,7-1,5 MeV energiatartományban működő 35-150 kW teljesítményű, folytonos üzemi elektrongyorsítók alkalmasak. Egy ilyen gyorsító általános felépítése a következő: a gyorsító egyenfeszültséget háromfázisú, szigetelt törzsű transzformátoros /ICT/ hálózati tápegység állítja elő, és kábelén, vagy feszültségátvezetőn át kapcsolódik a gyorsító nagyfeszültségű termináljára, ahonnan potenciálosztó ellenálláslánc osztja le a föld felé. Az elektronokat fűtött katódból elektronágyu és fókuszáló lencse állítja elő és lövi be az evakuált homogénterű gyorsítócsőbe, amelyen végiggyorsulnak és a cső - mint vastag elektrosztatikus lencse - síkjában 50-100 mA intenzitású, kb. 10-15 mm átmérőjű nyalábfoltot

hoznak létre. A feszültségforrás és a gyorsító különálló összekapcsolt acéltankban foglal helyet, amelyet kb. 7 ata nyomású SF₆ /kénhexafluorid/ szigetelőgáz tölt ki. A gyorsított elektronok két egymásra merőleges szaporán változó mágnes tér segítségével szétteríthetők egy viszonylag nagy felületű, 0,05 mm vastag titánfólia-ablak felületére /scanner/; az ablakon áthatoló energikus elektronok a szabad levegőre jutnak és ráirányíthatók a besugárzandó anyagra. Az elektronágyu gyorsítócső és scanner kb. 10⁻⁷ Torr üzemi nyomáson tartandó; ezt alkalmas vákuumrendszer biztosítja.

A nagyenergiájú elektronok aktivációs küszöbenergiája a legtöbb elem esetén 5 MeV felett van, így a szennyvizek- és iszapok valamint a takarmányok 1-1,5 MeV-es elektronokkal való besugárzása gyakorlatilag nem okoz maradandó aktivitást.

A High Voltage Engineering Corporation és a Massachusetts Institute of Technology tervezésében és kivitelezésében a Boston melletti Deer Islandon 1976 május 19-e óta üzemel egy kísérleti elektrongyorsító berendezés, amely fenti elvek szerint épült fel és alkalmazza a bostoni kommunális és iapri szennyviz és szennyiszap egy részének, valamint odaszállított szennyvizmintáknak besugárzásos fertőtlenítésére. A berendezés 50 kW teljesítményű, 850 keV energiájú elektronokat állít elő 1220 mm x 100 mm felületű ablakon szétterítve, kapacitása 4 kGy besugárzási dózis esetén kb. 378 m³, 24 óra. A besugárzott szennyvizréteg vastagsága max. 3 mm; EVE \approx 35 %. A teljes berendezés egy 18,3 m x 7,3 m alapterületű előregyártott fém barakban nyert elhelyezést a Deer Island-i szennyvztisztító telep területén. A berendezés sematikus vázzata a 4. sz. ábrán látható.



A MÉM megbízásából alakult team által kidolgozott részletes tanulmányterv mezőgazdasági, valamint ipari és kommunális eredetű szennyvizek nagyenergiájú elektrongyorsítóval való besugárzásos fertőtlenítésére készült. Az alkalmazott elektrongyorsító a HVEC /Burlington, USA/ 1MeV-75 mA; 75 kW-os "Integrál T" típusa, besugárzási kapacitása EVE = 42,5 % hatásfok esetén. 114750 kGy kg//óra, vagyis szennyvizekre

4 kGy	esetén	28,7 m ³ /óra;	688,8 m ³ /24 óra
8 kGy	"	14,3 "	344,4 "
10 kGy	"	11,5 "	276,0 "

A maximális besugárzási dózis 10 kGy, vizrétegvastagsága 3,5-4,00 mm között, a víz maximális áramlási sebessége 0,67 m/sec, scannerméret: 183 cm x 10 cm, a titánablak vastagsága 0,05 mm. A szennyviz a scannerablak alatt 10-15 cm-re folyik át. A szükséges sugárvédelmi betonfal vastagság kb. 1.1 méter.

A berendezés összteljesítményigénye 4 kGy besugárzási dózisonál 79 kW. A team vizsgálatai szerint - a veszélyhelyzeteket kivéve - a 4 kGy besugárzási dózis alkalmas a sertésstrágya higfázisában lévő fertőző mikroorganizmusok hatékony elpusztítására. A fertőtlenített higfázis mezőgazdasági célú ujrafelhasználása így lehetővé válik /öntözés, talajerőnövelés, stb/. Járványveszély esetén a radiorezisztensebb mikroorganizmusok letális dózisigénye nagyobb, a készülék 10 kGy maximális besugárzási dózisa e kórokozókat is képes elpusztítani. A tervezett berendezés besugárzási kapacitása 4 kGy alkalmazása esetén képes megoldani egy 50 ezres állományú sertéstelep /pl. Nagytétény/ higtrágya-fertőtlenítésének problémáját megnyugtató módon.

Az előzetes tárgyalások során annak lehetősége is tisztázódott, hogy megfelelő átalakításokkal kétféle célra is használható lenne a referencia üzem, tehát takarmányfertőtlenítési programra is alkalmassá tehető. A hazai takarmányfertőtlenítési kísérleteket a PHYLAXIA élessarki 5,9 PBq aktivitású panorámikus besugárzójával végeztük, s ugyanitt folynak az üzemi méretű szolgáltatások is főleg SPF takarmányok fertőtlenítésére. Rovarfertőtlenítési vizsgálatokat végeztünk a Villamosszigetelő és Miananyaggyár nagyenergiájú elektrongyorsítójával. A mortalitási adatok megegyeztek a hasonló dózisu gamma besugárzás értékeivel.

Szovjet összehasonlító adatok szerint - dollár centben számolva - 1.5-3 MeV energiájú gyorsító esetében és évi 4000 üzemórát alapul véve, 1 to gabona sugárzásos rovarfertőtlenítése 10 cent. Gamma besugárzóval ugyanez 18 centbe kerül.

G.A Zakladnoj ugyanebben a cikkében közli, hogy egy évi 800000 to teljesítményű rovarfertőtlenítési célú gyorsító beruházási költsége mintegy 600.000 Rubel.

1978-ban a PHYLAXIA Vállalat Radiációs Főosztálya - az MTA Izotóp Intézetével együttműködésben - tervet készített a Bábolnai Mezőgazdasági Kombinát részére nagyértékű import fehérje-takarmányok /halliszt, szójadara, stb/ sugárfertőtlenítését ellátó, Co-60 töltettel működő berendezés létesítésére.

A 2. sz. táblázat ennek a berendezésnek a besugárzási költségeit szemlélteti.

Berendezés kihasznált- sága % /munkaórák száma/év/	Sugárforrás hasznosítás %		Besugárzási költség Ft.Mg ⁻¹		
	Halliszt	Szójadara	Halliszt	Szójadara	Keverék
100,0/8760/	92,0	86,0	398.-	66.-	114.-
75,0 /6570/	69,0	64,5	531.-	89.-	152.-
68,5 /6000/	63,0	58,9	581.-	97.-	166.-

2. sz. táblázat

A tervezet elkészítésére az OAB megbízásából került sor. Kivitelezésre még nem került.

Felkérésünkre 1979. februárjában a High Voltage Eng.Coop. előzetes árajánlatot készített /a METRIMPEX közreműködésével/ egy esetleges, kirakodó tengeri kikötőben elhelyezendő karantén jellegű, takarmányfertőtlenítő besugárzó állomás létesítésére.

Ennek főbb adatai az alábbiak:

Évi 500.000 tonna szójadara vagy más hasonló konzisztenciájú fehérje-takarmány mikrobiológiai és egyben rovarfertőtlenítését szolgálná az üzem.

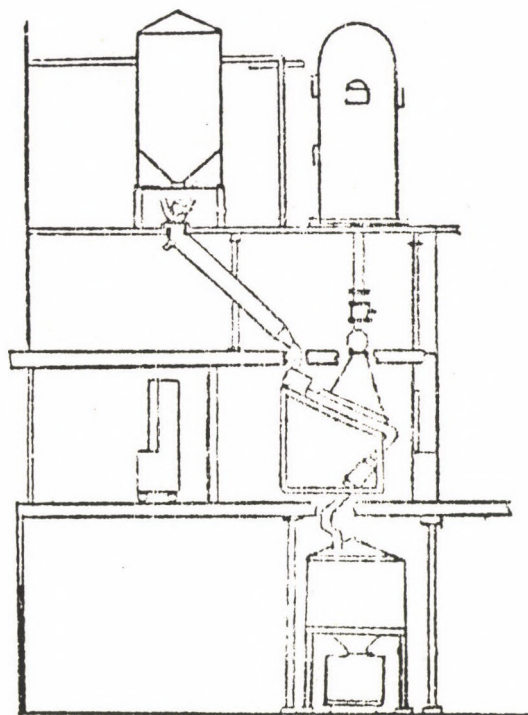
5 kGy átlag dózissal dolgozna s ehhez 250 kW energiát igényelne. Ha csak rovarfertőtlenítési igény lépne fel akkor ezek az értékek tizedével kevesebbek.

40 %-os elektronhasznosítással kalkuláltak.

Három db 2 MeV-es, 50 mA-es elektrongyorsítóra volna szükség ekkora tömegű takarmány kezeléséhez, természetesen a megfelelő szállító pályákkal stb.

A készülékek beruházási költsége 1.5-2 millió USA dollár között mozog.

Az 6. sz. ábránk egy külföldi gabona sugárfertőtlenítő állomás sémáját szemlélteti.



6.sz. ábra

Mexico City-ben található elektrongyorsító, folyamatos gabonabesugárzó vázlata. A Van-de-Graaff generátor 1,5 MeV-es elektronokat ad, 15-20 W teljesítménnyel. Kukorica rovarirtására tervezték 150 Gy /14 krad/ besugárzási dózis mellett.

IRODALOM

1. Ju. Andrjunyin: Problemü Vet. Szan.1973. VNIIVSZ.
2. E. Hess: Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B. 161, 1975.54.
3. J. Simon and P. Oroszlány: Radiation for pollution abatement, ESNA Proceedings p. 39-42, 1976.
4. Simon J., Gács F., Urbán A.,: IAEA-SM-194/603. Radiation for a clean environment. IAEA Proceedings.p. 411-417 /1975/
5. Simon J., Tamási G.,: IAEA-SM-194/306. Radiation for a clean environment. IAEA Proceedings.p. 209-216 /1975/
6. Simon J., Solyom F., Felkai V., Oroszlány P.: Radiation for pollution abatement. ESNA Proceedings. p. 39-42 /1976/
7. G.A.Zakladnoj, F.Sz.Percovszkij, Sz.M.Szavcsenko: A sugártechnika felhasználása a gabona rovarirtására Izotóptechnika /Budapest/ 21 /1978/ 275-285.

ÉLELMISZERTARTÓSÍTÁS ÉS MINŐSÉGFEJLESZTÉS IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSSAL

VAS KÁROLY

Központi Élelmiszeripari Kutató Intézet, Budapest

Az emberiség két fő problémája manapság az energia- és az élelmiszerprobléma. A kettő közül nyilván az élelmiszerkérdés a primer, mert, ha az életbenmaradás nem oldható meg, a többi problémával már nem is kell és nem is lehet foglalkozni. Világszerte éhínséggel találkozunk, sok száz millió éhező ill. rosszul táplált ember tengeti életét főleg az u.n. fejlődő országokban, és -- ezzel párhuzamosan -- hatalmas mennyiségű élelmiszer megy tönkre minden államban rossz készletgazdálkodás, tárolás, elosztás, fogyasztói szokások miatt. A helyzeten rendszerint a mezőgazdasági termelés növelésével igyekeznek változtatni az illetékesek, és ritkán ill. másodlagosan gondolnak arra, hogy nagyobb erőfeszítést kellene kifejteni az egyszer már nagy anyagi, emberi munka- és energia-ráfordítással megtermelt élelmianyag hosszabb ideig való eltarthatóságának biztosítására. Pedig kézenfekvő, hogy a tárolás és tartósítás javításával csökkenteni lehetne azt a veszteséget, mely a romlásból eredő közvetlen energiapazarlásból és a termelésbe fektetett, felesleges energia-invesztícióból adódik.

Az élelmiszertárolás és -tartósítás világméretű fontosságára ujabban az ENSZ-Egyetem /United Nations University/ oktatási-kutatási programkijelölése is felhívta a figyelmet. - E felismerés terjedése természetesen magával hozza a megoldás módzatainak vizsgálatát is. A feladat megközelítése főleg két uton képzelhető el: kémiai vagy fizikai módszerekkel. Az előbbi, a vegyszerek, tartósítószeres adagolása ujabban egyre népszerűtlenebb lesz, miután egyre több vegyszerről derül ki, hogy rákkeltő, vagy egyéb, egészségre káros hatást fejt ki. Ideálisabbnak tűnik a fizikai tartósítás elve. E téren eddig a hőközlés /főzés, sütés/ és a hőelvonás /hűtés, fagyasztás, gyorsfagyasztás/ módszerei voltak elterjedve. 180 éve az első új fizikai tartósítási eljárás a most induló új módszer, mely ionizáló sugárzásokkal tartósítja az élelmiszert fiziológiai változások /pl. burgonya-, hagyma-kihajtás/, mikrobiológiai romlás /pl. rothadás, penészesedés/, valamint egészségügyi károsodást létrehozó mikroorganizmusok megtelepedése és elszaporodása ellen.

Az élelmiszerbesugárzás előnye, hogy /a/ nem növeli számottevően az élelmiszer hőmérsékletét és ezzel megkíméli a káros érzékszervi elváltozásoktól /: tulfőzés, puhulás, stb./, és lehetővé teszi viszkózus anyagok /pl. datolya,

sűrítmények, szárított gyümölcsök, stb./ kezelését, /b/ nagyobb egyedekből álló termények belsejébe is behatol, és ott el tudja ölni a károsító szervezeteket /mint pl. egy nagyobb gyümölcsben levő rovar/, /c/ csomagolt termék is kezelhető vele, s így elkerülhető a kezelés utáni ujrafertőződés, /d/ energia-szükséglete kicsi, és /e/ nem hagy a terméken vegyszermaradványt.

Az élelmiszerbesugárzás hátrányos vonása, hogy -- mint minden fizikai eljárás -- ez is beruházás-igényes, és így csak egy bizonyos termelési volumen-küszöbérték fölött lehet gazdaságos. Elterjedésének másik gátja az a tény, hogy olyan időben született, amikor minden új eljárás csak nagyon alapos egészségügyi kivizsgálás után kerülhet bevezetésre. Ez a kivizsgálás nemcsak igen költséges, hanem igen időigényes is.

Néhány fontosabb alkalmazási lehetőség a következőkben sorolható fel.

Burgonya, hagyma kihajtása /"csirázása"/, gabona csirázása kis dózissal /0.02 - 0.08 kGy ~ 2-8 krad/ irreverzibilisen megakadályozható. Gyümölcsök érése lassítható, gombák kalapkinyílása megakadályozható viszonylag kis, vagy közepes dózissal /0.5 - 3.0 kGy ~ 50-300 krad/.

Gabona /buza, rizs, kukorica, stb./, borsó, bab, kakaó, zöldség-, gyümölcs-száritmányok rovarfertőzése elpusztítható /0.2 - 1.0 kGy ~ 20-100 krad/ a silókba töltést közvetlenül megelőzően, vagy rovarbiztos zsákokba, csomagokba zárás után. - Friss gyümölcsök, zöldségek rovarfertőzésének tovaterjedése megakadályozható /0.2 - 1.0 kGy ~ 20-100 krad/ a termény belsejében levő peték vagy a felületén levő rovarok inaktiválásával, aminek különösen a nemzetközi kereskedelmi növényvédelmi zárszolgálat /karantén/ szempontjából volna igen nagy jelentősége. Husokon élő paraziták /pl. trichinella ~ borsóka/ hasonló dózistartományban életképtelenné tehetők.

Fűszerek és más természetes ételadalékok mikrobás szennyezettsége jelentősen csökkenthető közepes dózissal /3 - 10 kGy ~ 300-1000 krad/, s ezzel az érintett alapélelmiszerek romlása redukálható ill. sterilizációs hőszükséglete leszorítható.

Romlékony, nagy víztartalmu élelmiszeralapanyagok, félkész- és késztermékek /pl. nyers hus, darált hus, hal, készételek, stb./ eltarthatósági ideje jelentősen növelhető /1 - 10 kGy ~ 100-1000 krad/.

Élelmiszerek ételmérgezést okozó mikroflórája /Salmonella baktériumok, stb./ kiküszöbölhető /1 - 5 kGy ~ 100-500 krad/ és így azok higiénés állapota javítható még akkor is, ha a termék fagyasztott állapotban van /pl. fagyasztott csirkeleveg, baromfihus, stb./.

Nagyobb dózisokkal $/3 - 20 \text{ kGy} \sim 300-2000 \text{ krad/}$ szá-
ritmányok főzhetősége javul, ami a főzési energiaszükséglet
csökkenéséhez vezethet.

A gyümölcsökből /pl. szőlő/ préselhető lé aránya nö-
velhető közepes dózisokkal.

Maga az eljárás abból áll, hogy a csomagolt /vagy
csomagolatlan/ élelmiszert az ionizáló sugárzást kibocsájtó
sugárforrások hatásának tesszük ki. A gyakorlatban ez a su-
gárforrás lehet radioaktív izotóp $/^{60}\text{Co}$ vagy $^{137}\text{Cs}/$, vagy
3-10 MeV-os elektronokat termelő gépi sugárforrás, esetleg
nagy energiájú röntgenkészülék. Egészségügyi szempontból a
10 MeV energiaszint alatti sugárzásokat lehet csak engedélyez-
ni, miután ebben a tartományban másodlagos sugárzást kibo-
csájtó anyag nem keletkezhet észrevehető mértékben az élel-
miszerben.

A sugárzásnak való egyenletes kitétel az, ami a be-
rendezés komplikáltságát involválja. Rendszerint két-oldalról
egyszerre vagy egymás után történő sugár-expozíciót kell meg-
valósítani. Izotópos sugárforrás esetén ez eléggé bonyolult,
szisztémák szerint történhet, folytonos vagy ugrásszerű /lép-
tetéses/ mozgatással. Elektrongyorsítóknál futószalaggal old-
ható meg a dolog, vagy vékony rétegben, függőnszerűen árá-
moltatható besugárzandó anyag /pl. gabonafélék, lisztek/
esetén a haladási irányra merőlegesen két vagy egy oldalról
történő sugár-alkalmazással. A besugárzásnál fontos, hogy az
élelmiszertétel különböző pontjai közel azonos dózist nyel-
jenek el, ezért a technológiai berendezés kialakításának egyik
alapvető szempontja a dózis-egyenletesség /uniformity ratio =
 $\bar{U} = \bar{D}_{\max} / \bar{D}_{\min} /$ biztosítása $/\bar{D}_{\max}$ és \bar{D}_{\min} azoknak a maximális
és minimális dózisértékeknek a középértékei, melyeket egy-egy
gyártási tétel rendszeres dózismérése során a tétel különbö-
ző részein elhelyezett doziméterek mutatnak/. Az elektron-
sugarak viszonylag gyenge behatoló képességére tekintettel,
gyorsító sugárforrás esetén az \bar{U} minél kisebb értéken tar-
tására különös gonddal kell ügyelni.

Bár a világ sok intézetében működik elektrongyorsító
élelmiszerbesugárzási célokra kísérleti /laboratóriumi/ szin-
ten, ipari alkalmazásra eddig még csak ^{60}Co -töltetű besugár-
zó került: Japánban burgonyát kezelnek vele. Olaszországban
burgonya, hagyma és fokhagyma besugárzására szolgáló üzem
létesítése folyik.

Nagyobb arányú élelmiszerbesugárzásra készülnek
Mexikóban, ahol egy Radiation Dynamics gyorsító felszerelése
folyik kukoricarovartalanítás céljaira, 200 t h^{-1} kapa-
citással $/0.2 - 1.0 \text{ kGy} \sim 20-100 \text{ krad}$ dózis szinten, azaz
 $111 - 556 \text{ kGy kg s}^{-1} \sim 40-200 \text{ kGy t h}^{-1} \sim 4-20 \text{ Mrad t h}^{-1}$
besugárzási kapacitással/. - Nagyméretű kísérletezés folyik
a gabonabesugárzás terén a Szovjetunióban, ahol a novoszi-
birszki Akagyemgorodokban a SzUTA Szibériai Részlegének Mag-
fizikai Intézetében készült ELV-3 jelű gyorsítóval 1977-ben

az Össz-Szövetségi Gabonaipari Tudományos Kutató Intézet novoszibirszki fiókjának 1200 t gabonát mentesített raktári kártevő rovaroktól, és ahol 1978-ban létrehoztak egy 200 t h^{-1} kapacitású gabonabesugárzó telepet. Az ELV-sorozat tagjai kedvező méretűek /2.8 m magasság, 1.6 m átmérő/, az ELV-3 energiatartománya 0.4 - 0.7 MeV, az elektronnyaláb 50 kW-os.

Gyakran tárgyalja az irodalom a két fő sugárforrás, az izotópos /gamma-sugaras/ és az elektrongyorsító berendezések élelmiszerkezelésre való alkalmasságának kérdését. Általánosságban az állapítható meg, hogy kisebb kapacitás-igény esetén /gabonánál pl. 20 t h^{-1} / a gamma-sugárzás alkalmazása célszerű, nagyobb üzemnél /pl. $200 - 400 \text{ t h}^{-1}$ / viszont az elektronsugaras berendezés a gazdaságosabb. Az igénynek megfelelő berendezéssel dolgozva, a besugárzási költségek kb. azonosak a kétféle készüléktípusnál, és mindkét esetben a kezelt termék kereskedelmi értékének néhány %-át teszik ki, ami a 10-50 %-os romlás lehetőségével szembe állítva, feltétlenül pozitív mérleggel záruló kezelésre vall.

Figyelembe véve azt a hatalmas élelmiszermennyiséget, melynek tartósítására és minőségjavítására besugárzást lehetne és kellene alkalmazni, megállapítható, hogy a gyorsító élelmiszeripari alkalmazása valóban érdekes, népgazdasági szempontból igen jelentős kutatási és fejlesztési feladat.

ELEKTRONSUGÁRZÁS A MŰANYAGIPARBAN

Dobó János

Műanyagipari Kutató Intézet, Budapest

A sugárkezelt termékek összértéke megközelíti az évi 2 milliárd dollárt. Ennek a termékmennyiségnek legalább 75 %-a a műanyagok előállítására és módosítására esik, ideértve a műkaucsukot, a műanyagfelhasználó lakk- és textilipart is. A maradék 25 % tulnyomó része sugársterilizett műanyag. Az ipari sugárkémia tehát még mindig lényegében műanyagipari sugárkémiát jelent. A mintegy 1.5 milliárd dollárt többszáz sugárkémiai üzemegység termeli meg ugyyszólván kizárólag elektron-gyorsító sugárforrással, közel százféle technológiával.

Mivel magyarázható a műanyagipar kiváltságos helyzete a sugárkémiaiában? Nézzük a dózisszükségletet. Az ismert képlet szerint a kémiai reakciók dózisszükséglete

$$D = \frac{6 \cdot 10^{23} \cdot 100}{G \cdot M} \text{ eV/g} \sim \frac{10^7}{G \cdot M} \text{ kGy} = \frac{10^6}{G \cdot M} \text{ Mrd}$$

ahol G a sugárkémiai hozam, M a molekulatömeg. Ha egy egyszerű szerveskémiai reakcióban $G = 1$ és $M = 100$

$$D = 10^5 \text{ kGy} = 10^4 \text{ Mrd.}$$

A polimerkémiaiában kétféle reakcióval van dolgunk:

1/ Polimerek átalakítása. A polimerek, mint ismeretes, óriásmolekulájú anyagok; M pl. 10^5 , így

$$D = 100 \text{ kGy} = 10 \text{ Mrd.}$$

2/ Polimerizáció. A polimerizáció láncreakció, tehát G pl. 10^4 és

$$D = 10 \text{ kGy} = 1 \text{ Mrd.}$$

A kis dózsisigény természetesen csak szükséges, de nem elégséges feltétele a sikernek; a konkrét lehetőséget a műanyagok alkalmazásának sokfélesége nyújtja, ami a tulajdonságok vagy a technológia egyedi sajátosságai útján használható ki.

A fenti két alapvető reakciótípust a MÜKI két kutatási feladatához kapcsolva szeretném bemutatni.

1/ Polimerek átalakítása

Ismeretes az etilénpolimerek térhálósodása sugárzás hatására. A térhálósítás alapvetően megváltoztatja a polimerek bizonyos tulajdonságait. Az eddigi ipari alkalmazásokban főleg a zsugortulajdonságokat használták ki.

A térhálós etilén polimerek zsugoranyagként való alkalmazásával foglalkozott Szőcs Gyula és Baranovics Pál előadása. A villamosipari zsugorcsoncsok mellett a legnagyobb felhasználási terület a vékony csomagoló zsugorfólia előállítás. Zsugorfólia sokféle létezik: a legegyszerűbbek és legolcsóbbak a különféle PVC alapú fóliák. Zsugorerő, hidegállóság és egyéb vonatkozásokban igényesebb zsugorcsoncsomagolást kíván a mélyhűtött baromfi és egyes országokban a nyers hus. A baromfi és hús csomagoló zsugorfóliák és tasakok összértéke mintegy 1 milliárd dollár; ennek kétharmada u.n. "Saran" típusu, egyharmada pedig a korszerűbb, sugárzással térhálósított termék.

Az 1. ábrán a zsugorerőt mutatjuk be, amely háromféle, állandó hosszra befogott zsugorfóliában a hőmérséklet emelésekor ébred. Amint látható, a sugárzással térhálósított etilénvinilacetát kopolimerben a térhálós kötések még igen magas hőmérsékleten is jelentős zsugorerőt biztosítanak. A hazai baromfiipar évi 1.5 millió dollár értékben használ Saran és térhálós polietilén zsugorcsoncsomagolást. Intézetünk a Papíripari Vállalat és a Baromfiipari Tröszt közös megbízásából és velük együttműködve hozzákezdett a térhálós polietilén csomagoló zsugorfóliák kidolgozásához. A kutatás főbb fázisai:

Az alapanyag megválasztása. Az alapanyagtól függ például a csomagoló üzemből a zsugorítófürdő hőmérséklete.

Receptúra kidolgozása, az élelmiszeripari előírások figyelembevételével.

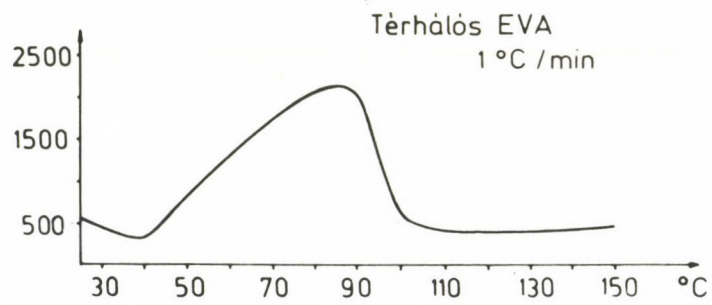
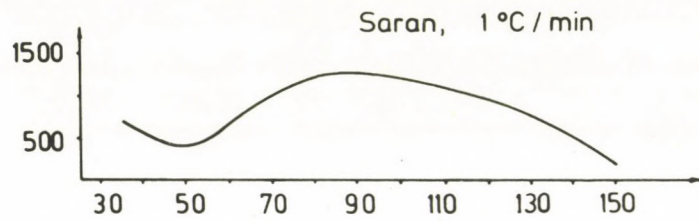
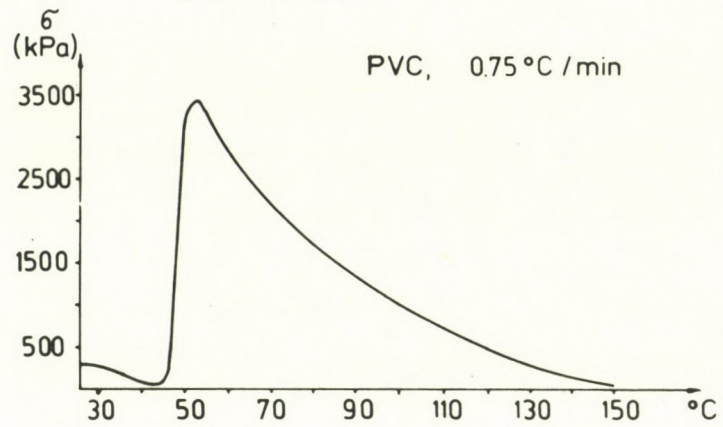
Kompaundálás, tömlőkészítés.

Besugárzási és tágitási technológia. A tágitási követelmény ellentétben a zsugorcsoncsokkal: míg ott radiális zsugorodás mellett axiális mérettartásra van szükség, addig a csomagolóanyagoknak minden irányban egyenletesen kell zsugorodnia.

Nyomtatás, konfekcionálás.

Zsugorfóliákban melegítéskor ébredő
zsugorfeszültség

(t állandó)



1. ábra

Míg 1 kg polietilén világpiaci ára 70 cent, 1 kg zsugorzacs-kóé 10-15 §. Így a fenti műveletek során a termék piaci értéke mintegy 15-20-szorosra nő.

Pillantsunk egy kicsit messzebbre, nézzük meg, mennyi ebből a sugárzás költsége? A csomagoló fólia térhálósítható viszonylag kis feszültségű, olcsó üzemű elektrongyorsítókkal. Ha 1 kWh sugárenergia /vagyis 3600 kGy-kg/ ára 1 §, és 50 % sugárkihasználással számolunk, 1 kg fólia sugárzásos térhálósítása mintegy 10 cent, vagyis az alapanyag árának 15 %-a, a késztermék árának pedig alig 1 %-a. Ez természetesen csak igen nagyteljesítményű, 1-1.5 MeV energiájú gyorsítókra igaz, azonban egyben arra is mutat, hogy a sugárzásos térhálósítás előnyei ma már kihasználhatók a zsugortermekekénél nagyobb volumenű termékek előállításában is: pl. vastag fóliáknál sugárkezeléssel növelhető a szilárdság, csővezetékeknél javítható a hőállóság és a feszültségi repedezésállóság.

2/ Sugárzásos polimerizáció

A legnagyobb jelentősége a lakkok, festékek, ragasztók sugárzásos keményítésének van. Ez az alkalmazási terület sok iparágat érint: a fémtekercs bevonatkészítést, a textilipart, papíripart, elektronikát, stb.

A jelenleg használatos felületbevonó anyagok, festékek és lakkok többnyire oldószeresek. Keményítésük az oldószer elpárolgatatásával történik, ehhez pedig nagy mennyiségű hőre és a termelési sebességgel arányos hosszúságu - néha 50 métert is elérő - kemencére van szükség. A hő egy része elkerülhetetlenül a bevonandó anyag fűtésére fordítódik; az elpárolgatatott oldószer szennyezi a környezetet; a hosszú kemencék indítási ideje nagy és egyidejűleg nagy anyagmennyiség tartózkodik bennük, ami nehezíti a termékváltást; a leállás vagy egyéb üzemzavar okozta szenesedés pedig körülményes tisztítást igényel - hogy csak néhány hátrányos körülményt említsünk.

A sugárzásos keményítéshez oldószermentes, polimerizációs festékeket és lakkokat használnak. Ezek ára magasabb a hagyományosokénál, egyéb vonatkozásokban azonban előnyökkel jár a sugárzásos technológia: a hatalmas kemencék helyett néhány négyzetméter helyigényű, egyszerűen kezelhető sugárforrásokra van szükség, a bruttó energiamegtakarítás tíztől-százszoros, stb.

A Pestvidéki Gépgyár értékelése szerint a zománchuzal-gyártásban is alapvető változásokra lesz szükség a következő évtizedben. A jelenlegi technológia, a 60-70 % oldószert tartal-

mazó lakkok többréteges felvitele hely- és energiaigényes, környezetszennyező, drága és a legnagyobb elérhető sebesség is elmarad a dróthúzás sebességétől, úgy hogy a két technológiai lépés csak termelékenység-csökkentéssel kapcsolható össze. Az olvasztásos vagy emulziós lakk-képzés sem látszik kielégítőnek. A Gyár és a Műanyagipari Kutató Intézet jelenleg közös kísérleteket végez sugárzásos huzalzómanócozási technológia kidolgozására. Ehhez mindenekelőtt olyan lakkokra van szükség, amelyek nem az oldószer elpárologtatásával, hanem polimerizációs úton, teljes tömegükben keményednek ki. Ebből következik, hogy a feladat nem oldható meg a technológia módosításával, csupán teljes átalakításával. Az oldószeres lakkok öttől hét rétegben való felvitele helyett például a polimerizációs lakk kísérleteink szerint egy vagy két rétegben kielégítő vastagságban felvihető; a keményedési út 8-12 méter helyett 1 méter vagy kevesebb. A kísérleti munkának még az elején vagyunk, az elektronsugaras keményítés néhány potenciális előnye azonban már nyilvánvaló:

- csökkent robbanásveszély és minimális környezet-szennyeződés;
- tiztől ötvenszer kisebb energiafelhasználás és helyigény;
- nagyobb elhúzási sebesség, amely alig függ a színezéktől;
- pillanatszerű indulás és leállítás, gyors termékváltás;
- a huzalok kisebb mechanikai igénybevétele, ami különösen vékony huzaloknál fontos.

Hivatkozások

- Dobó J., Elektrongyorsító alkalmazása a vegyiparban
Izotóptechnika, 1972/2, 79
- Dobó J., A nagy sugárforrások ipari alkalmazása
Magyar Kémikusok Lapja, 1979 s.a.

RONCSOLÁSMENTES GYÁRTMÁNYELLENŐRZÉS GYORSÍTÓKKAL

TAR JÓZSEF

Dunai Vasmű, Dunaujváros

I. A roncsolásmentes vizsgálatok gazdasági jelentősége

A roncsolásmentes vizsgálati eljárások dinamikus fejlődése és széleskörű elterjedése az iparilag fejlett országokban szorosan kapcsolódik ahhoz a törekvéshez, hogy a gazdasági növekedés folyamatát a fajlagos anyag- és energiafelhasználás csökkenési tendenciája kísérje.

Az anyagtakarékosság már a tervezés fázisában megkezdődhet, ha egy gazdaság rendelkezik mindazokkal a tárgyi, személyi és szervezeti feltételekkel, amelyek biztosítják a roncsolásmentes vizsgálati eljárások hatékony alkalmazását. Nagyszilárd-ságu anyagból készített hibamentes szerkezetek, szerkezeti elemek, alkatrészek stb. figyelembevételével 50 %-nál nagyobb mértékű anyagmegtakarítás is elérhető. Vagyon- és életbiztonsági szempontok miatt ez a lehetőség csak akkor válik kiaknázhatóvá, ha a gyártmányellenőrzés terjedelme eléri a 100 %-ot, ami értelemszerűen csak roncsolásmentes vizsgálati eljárások alkalmazásával biztosítható.

A gyártási folyamat ellenőrzése és szabályozása roncsolásmentes vizsgálóberendezésekkel a minőség javulását, a veszteségek csökkenését és a termelés mennyiségi növekedését eredményezi. Általában annál nagyobb eredmény érhető el, minél korábbi termelési fázisban illesztjük a gyártási folyamatba a vizsgálóberendezést. Ennek tulajdonítható, hogy az utóbbi évtizedben a roncsolásmentes vizsgálatok ipari alkalmazása területén fő fejlődési iránnyá vált a nagyteljesítményű, gyártósorokba illeszthető, automatikus, számítógéppel összekapcsolt vizsgálóberendezések elterjedése.

A vizsgálóberendezések teljesítményének növekedésével együtt járt a beruházási és fenntartási költségek rohamos növekedése. Ez a körülmény a fejlett ipari országokban azonban nem

riasztja vissza a felhasználókat ilyen berendezések telepítésétől, mert egyrészt az ellenőrzött termékek értékéhez viszonyítva már nem olyan jelentősek a vizsgálat költségei, másrészt a telepítés költségei igen rövid idő alatt megtérülnek. A telepítés elmaradása viszont a piacképesség romlásához vezet, ami tetemes veszteséget eredményez a gyártónak.

II. A gyorsítók alkalmazása a gyártmányellenőrzésben

A második világháború végéig a fémes anyagu gyártmányok belső hibáinak kimutatására csaknem kizárólag a kisenergiájú röntgensugaras radiográfia szolgált. Ezt követően a fejlődés üteme felgyorsult és egyre nagyobb falvastagságokat sikerült át-sugározni az ipari alkalmazás számára elfogadható expozíciós idő mellett.

A legnagyobb teljesítményű röntgenberendezéseket /420 keV, 10 mA/ kb. 100 mm-es acélvastagságig lehet gazdaságosan felhasználni. Co-60 gammasugárzó radioaktív izotópok alkalmazása esetén kb. 200 mm-nél van a felső falvastagság határ. A 10-30 MeV energiájú betatronok kifejlesztésével már kb. 400 mm-re sikerült javítani a falvastagság rekordot. Napjainkig a legnagyobb vizsgálati teljesítményt nagy sugárintenzitású lineáris gyorsítókkal sikerült elérni. Néhány órás expozíciós idő mellett 600 mm falvastagságú acél gyártmányok vizsgálata is elvégezhető.

A vázolt fejlődés azonban nemcsak az átsugározható falvastagság tekintetében hozott nagy eredményeket, hanem a felvételtechnikai paraméterek javulásán keresztül a hibafelismerhetőség vonatkozásában is. Pl. 300 mm-es acélvastagságnál kb. 2 mm átmérőjű gömbalaku üreg képe még felismerhető a filmfelvételen. A hosszukás alaku folytonossági hiányoknál még ennél is kedvezőbb a hibafelismerhetőség. 500 mm vastag acélban pl. a sugárzás irányára merőlegesen elhelyezkedő hengeres furat 1 mm-es átmérő mellett még kimutatható.

A gyorsítóberendezésekkel előállított nagyenergiájú röntgensugarakat különféle gyártási technológiákkal /öntés, kovácsolás, hegesztés/ készített, a felhasználás során különleges igénybevételnek kitett, vastagfalú gyártmányok vizsgálatára használják fel. Az ellenőrizendő gyártmányok széles skálája miatt az iparban alkalmazott gyorsítók választéka is jelentősen kiszélesedett. A felhasználók gyártmányaik falvastagságának megfelelően válogathatnak pl. 250 mm, 375 mm, 500 mm és 600 mm acélvastagság átsugárzására alkalmas lineáris gyorsító berendezések között. A választékot tovább javítja az a körülmény, hogy ma már több berendezést gyártó cég kínál olyan gyorsítókat, amelyek mobilizálhatók, vagyis speciális

gépkocsira telepítve alkalmasak több egymástól nagyobb távolságban lévő gyártóüzem illetve szerelési hely kiszolgálására.

III. Hazai igények és lehetőségek

A Kohó- és Gépipari Minisztérium felmérése szerint hazánkban három vállalat igényli a gyorsítók alkalmazását gyártmányellenőrzés céljából. A Lenin Kohászati Művek a Láng Gépgyár részére gyárt nagy falvastagságú turbina öntvényeket. A vizsgálatot itt célszerű lenne a gyártási folyamatba beépíteni, hogy a gyártási hibák hamar kiderüljenek és a roncsolásmentes vizsgálat minőségsszabályozó szerepe hatékony legyen. A Láng Gépgyár kisebb mennyiségben szintén igényli a vizsgálatot saját üzemében, mert külföldről származó öntvényeket is felhasznál gyártmányaihoz. A Jászberényi Aprítógépgyár 100 mm-nél vastagabb szelvényű hegesztési varratok vizsgálatához tart igényt vizsgálati kapacitásra.

Tekintettel arra, hogy az igények kielégítésére szóba jövő gyorsítók beszerzési ára - a teljesítménytől és a szolgáltatások mértékétől függően - 10-20 millió forint között mozog, nem látszik megvalósíthatónak 3 db gyorsító megvásárlása és letelepítése az említett 3 vállalatnál. Gazdasági megfontolásokból kiindulva tehát az alábbi koncepció megvalósítása javasolható.

1. A három vállalat jelenlegi igényeit és várható fejlesztéseit figyelembe véve 500 mm-es maximális acélvastagságból kell kiindulni a megfelelő gyorsító kiválasztásánál.
2. A maximális teljesítmény igény ismeretében elsősorban számításba jövő berendezések a következők:
 - az amerikai VARIAN cég LINATRON 2000 típusu gyorsítója /8 MeV; 2000 R/m/m/,
 - az angol RADIATION DYNAMICS cég SUPER X 2000 típusu gyorsítója /8 MeV; 2000 R/m/m /,
 - a szovjet LUE-10-2D típusu gyorsító /10 MeV; 5000 R/m/m /.
3. A gyorsító berendezés önjáró szerkezettel legyen ellátva és speciális gépkocsin különböző vizsgálati helyekre lehessen szállítani.
4. A mobil berendezés legyen az MTA Izotóp Intézetének kezelésében, azzal a határozott megbizással, hogy elégítse ki a 3 vállalat vizsgálati igényeit, a gyorsító megmaradó kapacitását pedig fordítsa vizsgálatfejlesztésre és tudományos kutatásra.

GYORSITÓK IPARI ANALITIKAI ALKALMAZÁSÁNAK ÁTTEKINTÉSE

BUJDOSÓ ERNŐ* és TÓTH LAJOS**

*MTA Könyvtára, Informatikai és Tudományelemzési Kutatási
Főosztály, Budapest

**ALUTERV-FKI Alumíniumipari Tervező és Kutató Intézet,
Budapest

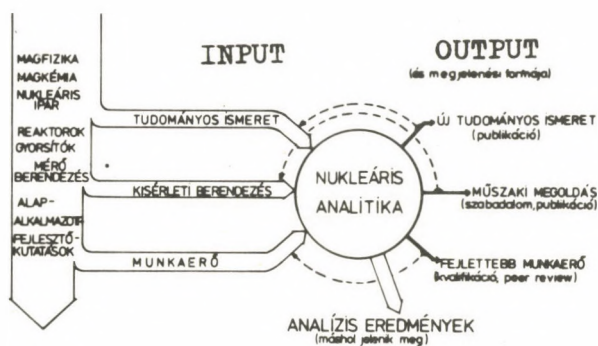
Ipari analitikán a köznapi értelemben mindazon analitikai módszereket értik, amelyek a nyersanyagtól a késztermékig terjedő igen különböző anyagok elemzését lehetővé teszik. Az ehhez szükséges analitikai eszközök egyrésze az üzemek laboratóriumainak szokásos tartozéka. Tágabb értelemben azonban az ipari analitikához tartozik az alkalmazott kutatás és fejlesztés mindazon része is, amely az ipari kutatást, annak analitikai problémáinak megoldását szolgálja. A technológia kialakítása során számos olyan vizsgálatra szükség lehet, amit az üzemi laboratóriumok eszközeivel nem lehet megoldani, azoknál nagyobb műszaki és tudományos apparátust igényelnek. Az ilyen módszerek és eszközök fegyvertárát egészítik ki és ma már nélkülözhetetlenek a gyorsítókkal megvalósítható analitikai vizsgálatok is. Ezek az eljárások valószínűleg még a távolabbi jövőben is a tudományos centrumokban lesznek alkalmazhatók, nem pedig az ipari laboratóriumokban /1/.

A gyorsítók ipari analitikai alkalmazásának célja a vizsgált minta egészének, illetve a felületének analitikai jellemzése. A tudományos eredmények és a technológia közötti szoros kölcsönhatások eredményeképpen a felületi, illetve a vékony és vastag rétegek analitikájának fejlődésével párhuzamosan folyik az előírt tulajdonságú rétegek, ezek ipari alkalmazásának kifejlesztése. Elég, ha itt a kopásálló, korrózióálló felületekre, katalizátorokra, diffúzióval, hőkezeléssel, vagy ion implantációval létrehozott különleges összetételű rétegekre utalunk.

Az itt alkalmazott analitikai eljárásoknak jelentős része a nukleáris analitikán alapszik, amely a magfizikai ismeretek és berendezések széles körét és az e területen dolgozó kutatók szakismeretét használja fel /2/.

A nukleáris analitika kialakulása során az alapkutatásból alkalmazott kutatás, majd kísérleti fejlesztés lett. Az ut a jelenségek belső összefüggéseinek, törvényszerűségeinek feltárására irányuló kutatástól a konkrét technológiák kidolgozásán át az eredmények gyakorlati hasznosításáig, konkrét termelési cél elérésére irányuló tevékenységhez vezetett /3/.

A nukleáris analitika K+F működési mechanizmusát az 1. ábrán kíséreltük meg felvázolni. Az input, azaz az ismeret, a kísérleti berendezések és a munkaerő, egy fő ágnek, a nukleáris alapkutatásnak különböző leágazásai. A tudományos gépezet produktuma - az új ismeretanyag, új műszaki megoldás és a fejlettebb munkaerő - visszacsatolódnak a gépezet működésébe. A folyamat fő hajtóereje a főág balról jobbra ható nyomása, továbbá a különböző tudományágakban, valamint kutató-fejlesztő tevékenység-típusokban felhasználható analitikai eredmények iránti szivóhatás.



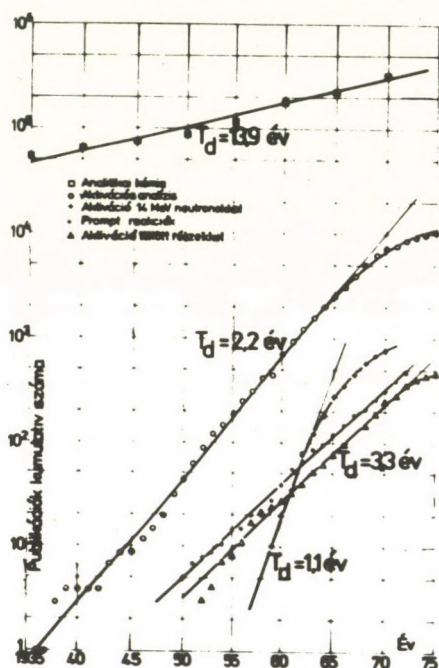
1. ábra

A nukleáris analitika K+F működési mechanizmusa

A hajtóerő hatásának, vagyis a tudományág fejlődésének mérésére lényegében bármelyik input vagy output adat felhasználható lenne. A gyakorlati alkalmazás fejlődését éppen az "analízis eredmények" ág jellemezné a legjobban, ez azonban önállóan a kísérleti fejlesztés miatt egyáltalán nem jelenik meg. Ezért az analitikai eredmények szolgáltatása és a publikált új tudományos ismeretek között kell valamilyen arányosságot feltételeznünk. Ha a közleményeket a tudományos információ elemi kvantumainak tekintjük, akkor ezek számának növekedése tükrözheti az illető tudományág fejlődését /4,5/. Ha egy tudományos feladat megoldása több kérdést vet föl, mint amennyit megvá-

laszol, ezen kérdések száma nagy átlagban állandó, továbbá rendelkezésre áll ezen kérdések megválaszolásához szükséges anyagi eszköz és munkaerő, akkor a tudományterület növekedése exponenciális lesz /6,7/.

Ezekről a bonyolult kapcsolatokról és kölcsönhatásokról vall a dolgozatok számának alakulása. A 2. ábrán bemutatjuk a gyorsítókkal végezhető töltött részecske aktivációval, prompt módszerekkel és a 14 MeV energiájú neutronokkal kapcsolatos analitikai közlemények számának növekedését.



2. ábra

Az analitika és a nukleáris analitika egyes területeinek fejlődése a megjelent közlemények tükrében

Feltüntettük az aktivációs analitika területén megjelent, az előzőeket is magában foglaló közlemények számának, valamint a teljes analitikai kémiai irodalom növekedését is. A világ analitikai igénye közel háromnegyed évszázada az összes analitikai témájú publikációk számát 14 évenként megduplázza. A fiatal nukleáris analitika területein jelenleg a fejlődés ennél sokkal dinamikusabb. Megemlítve az ábrán fel nem tüntetett területeket: a prompt magreakciókat felhasználó analitikai módszereknél mint például a töltött részecske - töltött részecske reakciók alkalmazásáról, 1,7 év alatt, a töltött részecske - gamma foton reakciókkal végezhető analitikáról 2,8 év alatt; a részecskék szórásának területén a Rutherford visszaszóráson alapuló technikáról 1,7 év alatt, a csatorna-

hatás révén az atomok lokalizációjáról 1,3 év alatt manapság annyi publikáció születik, mint amennyit összesen a korábbi években irtak.

A következőkben az ipari alkalmazás szemszögéből áttekintjük a gyorsítókkal végezhető nukleáris analitikai lehetőségeket, ahol főként az újabb irodalmakra hivatkozunk. A tárgyban az utóbbi időben számos kongresszust tartottak /8-15/, illetve összefoglaló műveket irtak /16-26/.

A besugárzás kapcsán létrejövő magfolyamatokat a besugárzás és a mérés között eltelt idő szerint két nagy csoportba oszthatjuk: késleltetett és prompt módszerekre /1. táblázat/. A szétválasztás természetesen nem lehet éles, ugyanis a rövid felezési idejű izotópok keletkezése esetén a prompt technikát kell alkalmazni, míg például a hosszú élettartamu metastabil állapotok mérése az aktivációs analízisnél használatos módszerekkel oldható meg.

1. táblázat

Gyorsítók analitikai alkalmazásának területei

KÉSLELTETETT MÓDSZEREK

/AKTIVÁCIÓ/

14 MeV neutronokkal: FNAA Fast Neutron Activation Analysis

töltött részecskékkel: CPAA Charged Particle Activation Analysis

nehéz ionokkal: HIAA Heavy Ion Activation Analysis

fotonokkal: PAA Photon Activation Analysis

fotonukleáris reakció

metastabil izomér állapotok gerjesztése

PROMPT MÓDSZEREK

magreakciók: NRA Nuclear Reaction Analysis

proton indukált rtg: PIXE Proton Induced X-Ray Emission

ion indukált rtg: IIXE Ion Induced X-Ray Emission

nehéz ion indukált rtg: HEHIX High Energy Heavy Ion Induced X-Ray Emission

részecskék szóródása

nagyszögű Rutherford szórás: RBS Rutherford Back Scatt.

rezonancia szórás

Késleltetett módszerek

A gyors neutronokkal létrehozott magreakciók több könnyű és számos közepes rendszámú elemnél vezetnek radioaktív izotóphoz.

A módszert elsősorban oxigéntartalom meghatározására használják, az acél és aluminium oxigénelemzése ma már ipari eljárás /27-32/. A neutronenergia növelésével, például izokrón ciklotron alkalmazásával kb. két nagyságrend érzékenységnövekedést értek el az oxigén és más elemek meghatározásában /33/, viszont a mátrixok felaktiválódása miatt az interferenciák is megnöve-

kednek. A neutrongenerátorokat sikeresen használják további elemek /34-38/, valamint makrokomponensek meghatározására is /39,40/.

Nagy energiájú töltött részecskékkel elvben minden elem aktiválható, a módszert mégis akkor érdemes használni, ha az az egyszerűbb neutronaktivációval nem oldható meg /41/. A bombázó részecskék optimális energiáját a reakció hatáskeresztmetszete szabja meg, ami általában maximummal rendelkezik. Alkalmazásuk általában azt használja ki, hogy adott energiaküszöb alatt bizonyos elemek interferencia nélkül aktiválódnak, emiatt a töltött részecske aktiváció a könnyű elemek analízisének leghatékonyabb módszere /42-46/. A legelőnyösebb bombázó részecske a ^3He ion, amely már kis energia esetén is nagy hatáskeresztmetszettel hoz létre magreakciókat alacsony, közepes és magas rendszámú elemeken /44, 47-50/.

A töltött részecske aktivációs analízis belépése a többi analitikai módszerek közé szépen példázza, hogy egy új módszer új ismeretekre vezethet korábban jól ismert, illetve ismertnek vélt anyagokra vonatkozóan is. Az ipari aluminium oxigén koncentrációjának elemzése fontos ipari probléma. A mért térfogat koncentráció az utóbbi 10 év alatt kb. 200-ad részére csökkent /32,41/. A módszerek általános finomodásán kívül ezt az is okozta, hogy a töltött részecske aktivációval elérhető érzékenység $0,05 \mu\text{g/g}$, szemben a korábbi legérzékenyebb 14 MeV neutron aktivációs módszer $0,5 \mu\text{g}$ érzékenységgel. Az érzékenység növelése módot ad a minta mennyiségének csökkentésére is. Az European Bureau for Reference Materials által szervezett körmérés alkalmával egy Ti-Al-V ötvözet oxigénkoncentrációját 14 MeV neutronokkal 20 g anyagmintából, a redukáló izbitás módszerével 0,2 g-ból, a töltött részecske aktivációs analízissel pedig 0,7 mg mennyiségből tudták kb. azonos szórással meghatározni /41/.

Az a felismerés, hogy egyes reakciók megfordítva is lejátszódnak, vezetett el a legkönnyebb elemek a H, D és T aktivációs analitikai meghatározásához ciklotronból nyert nehéz ionok révén /51-53/.

A töltött részecske és a nehéz ion aktivációs analízis a mintának csupán vékony felületi rétegéről adnak felvilágosítást a bombázó részecske kis behatolási mélysége miatt. A nagy energiájú fotonokkal végzett aktivációs analízisnél az analitikai információ a minta teljes vastagságából érkezik.

A nagyenergiájú fotonok elektromágneses tere dipól rezgéseket kelt a target magokban. A gerjesztett állapot szélessége Γ /3-5 MeV, a rezonancia 18 és 25 MeV fotonenergia között jön létre az óriásrezonanciának megfelelően. Könnyű magoknál a $[\gamma, p]$ és a $[\gamma, n]$ reakció, nehéz magoknál a $[\gamma, n]$ és a $[\gamma, 2n]$ reakció vezet radioaktív maghoz /54-56/. A fotonukleáris reakciókat elsősorban a könnyű elemek, így a C, N és O meghatározására használják kémiai elválasztással /57-59/.

A nehéz ionokkal és a fotonokkal végzett aktivációs analízisnél az elektronbefogással bomló, vagy a hosszú izomér állapottal rendelkező izotópoknál sikeresen alkalmazzák az alacsony

energiájú röntgen vonalak spektroszkópiáját /LEPS Low Energy Photon Spectroscopy /60-62/. A 70 keV alatti KX sugárzás spektruma aránylag egyszerű és egyértelműen függ a rendszámtól. A módszer a 34 és a 82 közötti rendszámok esetén alkalmazható /63/.

A rezonancia abszorpció révén a mag hosszu élettartamu izomér állapotba is kerülhet. Az alapállapotba való átmenetkor egyetlen gamma vonal lép fel. A bombázó foton energiáját általában 7 MeV alatt tartják, hogy csak a /gamma, gamma'/ rugalmatlan szórás jöjjön létre, a zavaró /gamma,n/ reakció pedig ne léphessen fel. A hosszú élettartamu izomér állapotok mintegy 18 elem zavarásmentes meghatározását teszik lehetővé /22, 42, 64/.

A fotonukleáris reakciók érzékenysége kb. 1 $\mu\text{g/g}$ körül, a rugalmatlan szórásnál 1-200 $\mu\text{g/g}$ között változik. A foton aktivációs analízisnek különös jelentősége van olyan geológiai és technológiai minták analízisének, amelyek összetétele miatt erős felaktiválódás vagy önárnyékolás lépne fel neutronaktiváció esetén.

Prompt módszerek

A prompt módszereknél a gerjesztés és a jel között nincs időkéscés. A bombázó részek azonosak az aktivációs módszernél alkalmazottakkal. A mért reakciótermékek: a magreakcióknál töltött részek és neutronok, fluoreszcencia gerjesztésnél röntgen, esetleg optikai sugárzás, viasszaszórásnál pedig a szórt töltött részecskék /16,21/.

A prompt magreakciókkal végzett analízisnél a bombázó és a kilépő részecskék igen nagy variációjával találkozunk. Analitikai célra azok a reakciók használhatók fel előnyösen, amelyeknél a bombázó részecske energiája és tömege a keltett részecske típusa, hozama és energiája egyértelműen meghatározzák a tárgyet magot és annak koncentrációját.

Könnyű atommagoknál / $Z < 20$ /, ahol a Coulomb gát alacsony, a töltött részecske besugárzásra rezonanciák lépnek fel. A /p,gamma/ és a /p, alfa gamma/ rezonanciák a gammafotonok mérésével egyrészt felhasználhatók elem-analízisre, másrészt a könnyű elemek mélységeloszlásának meghatározására /65-71/. A mélységfelbontás 1-10 μm vastag rétegen 500-1000 Å, amit a rezonancia szélessége és a részecskék energiája szab meg /22/.

Amennyiben a hatáskeresztmetszet alig változik az energiával és a reakció Q-értéke nagy, a nagy szög alatt kilépő, nagy energiájú részek energiaspektruma jellemző a szennyező koncentrációjának eloszlására /25, 71-75/.

Alfa sugarakkal való Coulomb gerjesztés vagy a magreakciók révén keltett gammasugárzás mérése lehetőséget nyújt számos könnyű, középnehéz és nehéz elem meghatározására /76/.

Nagy alkalmazási területe van a neutronok indukálta /n,gamma/ reakcióknak, ahol a prompt folyamatban keltett nagy energiájú gamma fotonokat mérik /21,22/.

A töltött részek által keltett röntgenemissziós analízisnél az anyagban keltett karakterisztikus sugárzást általában energiadiszperzív módszerrel mérik /16,21/. A $Z=13-30$ rendszámú elemek karakterisztikus KX, valamint a $Z=49-83$ rendszámú elemek LX sugarainak gerjesztése általában 2-3 MeV energiájú protonokkal történik, amely 1-100 $\mu\text{g/g}$ közötti érzékenységet tesz lehetővé /22,46,77,78/. A KX sugárzás felhasználása igen előnyös, mert a kísérletileg kimért gerjesztési függvényeik jól egyeznek az elméleti adatokkal /79/. A módszert mélység eloszlás mérésére is használják /80,81/.

A könnyű elemek mérését a kis energiájú fluoreszcens sugárzás és a háttér teszi nehézkesé /82/. A $Z > 15$ rendszám fölött például 30 MeV alfa nyalábbal teljes elemzés is végezhető 1% alatti hibával /83/.

Az ion-indukált röntgenemisszió, valamint a nagy energiájú nehéz ionok indukálta röntgenemisszió azt használja ki, hogy a karakterisztikus sugárzás keltésének hatáskeresztmetszete nő a részecske tömegével, töltésével és energiájával /84,85/.

Részecskék szóródása

Analitikai célra a részecskék nagyszögű Rutherford szórása is felhasználható /21/, ugyanis egyértelmű összefüggés van a szórt részecske energiája és a szóró atom tömege között /25/. Míg a töltött részecske aktiválásnál a Coulomb gát miatt a könnyű atommagok meghatározása volt előnyös nagyobb rendszámú mátrixban, a részecskék visszaszórásának vizsgálatakor magasabb rendszámú elemek mutathatók ki előnyösen könnyű mátrixban. A szórt részecskék száma közvetlenül arányos a szórócentrumok mintabeli koncentrációjával.

A szórás egyik speciális alkalmazása a csatornahatás felhasználása, amely alkalmas a szennyezők rácslokalizációjának vizsgálatára /16,22,25,86/.

Töltött részecskéknek az atommagokkal való kölcsönhatásakor a Coulomb gát alatt is léphetnek fel rezonanciák. Ez a rezonancia szórás, vagy több rezonancia átfedése miatt létrejövő ún. anomális szórás a nagyszögű Rutherford szórással ellentétben a könnyű atomok tartományában alkalmazható /22/. A Coulomb gerjesztés révén létrejövő $/p, p' \gamma/$ rezonancia szórás az 1-7 MeV energia közé eső gammasugarak mérésével /GRALE Gamma-Ray Analysis of Light Elements/ módot nyújt a könnyű /86-89/, továbbá $Z=23-83$ közötti elemek meghatározására /65/.

A prompt módszerek összes változata alkalmazható vékony, eltéríthető ionnyaláb esetén is. Ezt valósítja meg a nukleáris mikroszonda a kisméretű elektrosztatikus gyorsítóval előállított, változtatható energiájú proton vagy hélium ionnyalábjával és a sokoldalú mérésekre alkalmas detektoraival, amelyben az atommag reakciók a röntgenfluoreszcencia gerjesztés és a rugalmas szórás egyaránt felhasználható analitikai információra /90-96/.

Végezetül, ha valamilyen időbeli mérleget is szeretnénk levonni a nukleáris analitika által az utóbbi 10-12 évben elért jelen-

tős eredményekről, azt a Lyon és munkatársainak az Analytical Chemistry folyóiratban kétévenként "Nucleonics" címen megjelenő összefoglalóiból tehetjük leginkább /97-103/. Vegyük sorra a jelentősebb mérőföldköveket /104/: 1968-ban a félvezető detektorok új lehetőségeket tártak fel elsősorban a töltött részek és a foton aktivációs analízis terén. 1970-ben kezd a töltött részekkel gerjesztett röntgenfluoreszcencia vizsgálata-
tok irodalma növekedni. 1972-ben figyeltek fel először arra, hogy a kutatók, de különösen a fizikusok tömegesen kezdenek az alkalmazott és fejlesztési kutatásokban tevékenykedni. Az 1974-es évben a röntgenfluoreszcenciás módszerek ragyogó kifejlődésével a nukleáris módszerek mintegy leülepedtek, elfoglalták helyüket, egyre nagyobb outputot szolgáltatva az 1. ábrán bemutatott "analízis eredmények" ágban.

Hivatkozások

1. Berényi D., Magyar Tudomány, 24 /1979/ No. 11, 332.
2. Berényi D., ATOMKI Közl., 19 /1977/ 63.
3. Központi Statisztikai Hivatal: A tudományos kutatás és fejlesztés statisztikája. Statisztikai fogalmak, Budapest, 1979.
4. T. Braun, W.S. Lyon, E. Bujdosó, Anal. Chem. 49 /July 1977/ 682A.
5. T. Braun, E. Bujdosó, J. Radioanal. Chem., 50 /1979/ 9.
6. D. De Solla Price, Science, 149 /1965/ 510.
7. Ch.C. Holt, W.E. Schrank, Amer. Docum., /1968/ 18.
8. Proc. Conf. on Ion Implantation and Ion Beam Techniques in Corrosion Studies, Manchester, 1975.
9. Proc. of the Intern. Nuclear and Atomic Activation Analysis Conference and 19th Annual Meeting on Analytical Chemistry in Nuclear Technology, Oct. 14-16, 1975, Gatlinburg, Tennessee, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1976; lásd J. Radioanal. Chem. 32 /1976/.
10. Proc. Intern. Conf. on Ion Beam Surface Analysis. O. Meyer, G. Linker, F. Käppeler /Eds/, Plenum Press, 1976.
11. Proc. 4th Conf. on the Scientific and Industrial Applications of Small Accelerators, Denton Tex., 25 Oct. 1976, J.L. Duggan, I.L. Morgan /Eds/, /1976/.
12. Proc. of the 1976 Intern. Conf. on Modern Trends in Activation Analysis, Vol. 1-2, Sept. 13-17, 1976, München FRG. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1977; lásd J. Radioanal. Chem., 37, 38, 39 /1977/.
13. Proc. Intern. Conf. on Particle Induced X-Ray Emission and Its Analytical Application. S.A.E. Johansson /Ed./, Nucl. Instr. Meth., 142 /1977/ No. 1-2.
14. Proc. 3rd Intern. Conf. on Ion Beam Analysis. Washington D.C., June 27-July 1, 1977.
15. Proc. Intern. Conf. on Proton Induced X-Ray Emission, Lund, Sweden, 1976. Nucl. Instr. Meth., 142 /1977/.
16. J.R. Bird, B.L. Campbell, P.B. Price, At. Energ. Rev., 12 /1974/ 275.
17. Bujdosó E., ATOMKI Közlemények, 17 /1975/ 73.
18. Bujdosó E., Fizikai Szemle, 25 /1975/ 85.

19. T.A. Cahill, New Uses of Low Energy Accelerators, J. Ziegler /Ed./ Plenum Press, New York, 1975.
20. G. Deconninck, F. Bodart, G. Demortier, At Energy Rev., 13 /1975/ 367.
21. J.R. Bird, B.L. Campbell, R.J. Cawley, Prompt nuclear analysis bibliography 1976., AAEC/E-443, May 1978, 169 p.
22. G. Deconninck, Introduction to Radioanalytical Physics, Nuclear Methods Monographs No.1, Akadémiai Kiadó, Budapest, Elsevier, Amsterdam, 1978, 242 p.
23. V. Krivan, Fresenius Z. Anal. Chem., 290 /1978/ 193.
24. S.S. Nargolwalla, "From idea to application. Some selected nuclear techniques in research and development." IAEA, Vienna 1978, p. 81.
25. A. Turos, Nukleonika /Warsaw/, 23 /1978/ 183.
26. E.A. Wolicki, J. Butler, D. Treado, Ion Beam Analysis, North Holland, Amsterdam, 1978.
27. G.J. Lutz, 14-MeV Neutron Generators in Activation Analysis: A Bibliography, NBS Technical Note 533, June 1970.
28. R. van Grieken, J. Hoste, Annotated Bibliography on 14 MeV Neutrons. Eurisotop Office Information Booklet 65 Series: Bibliographies 8, Bureau Euroisotop, Brussels, 1972.
29. C. Vandecasteele, A. Speecke, J. Hoste, The determination of Oxygen in Non Ferrous Metals by 14 MeV Neutron Analysis. Euroisotop Office Information Booklet 68, Series: Monographies 22, Bureau Euroisotop, Brussels, 1972.
30. S.S. Nargolwalla, E.P. Przybylowicz, Activation Analysis with Neutron Generators, Chemical Analysis Series Vol. 39, J. Wiley, New York, 1973.
31. Várhalmi L., Bencze B., Gárdos M., Vorsatz B., Varga L., Temesi I., Izotóptechnika, 20 /1977/ 339.
32. J. Pauwels, J. Radioanal. Chem., 50 /1979/ 115.
33. H. Münzel, F. Michel, P.P. Coetze, V. Krivan, J. Radioanal. Chem., 37 /1977/ 267.
34. T. Bennett, D. Cavers, J.M. D'Auria, J. Radioanal. Chem., 13 /1973/ 201.
35. V. Krivan, H. Münzel, J. Radioanal. Chem., 15 /1973/ 575.
36. Bornemisza-Pauspertl P., Kovács P., Uray, I., ATOMKI Közl., 18 /1976/ 355.
37. C. Vandecasteele, R. Kiefer, J. Hoste, J. Radioanal. Chem., 37 /1977/ 255.
38. M.D. D'Agostino, E.A. Kamykowski, F.J. Kuehne, G.M. Padower, E.J. Schneid, R.L. Schulte, M.C. Stauber, F.R. Swanson, J. Radioanal. Chem., 43 /1978/ 421.
39. J. Mayer, I. Kasparec, Radiochem. Radioanal. Letters, 38 /1979/ 313.
40. D. Kafka, J. Turán, P. Salzer, Radiochem. Radioanal. Letters, 37 /1979/ 141.
41. J.L. Debrun, IEEE Trans. on Nucl. Science, NS-26 No. 2. /1979/ 2229.
42. G. Cabane, Ch. Engelmann, Rev. Phys. Appl. 3 /1968/ 365.
43. Ch. Engelmann, J. Radioanal. Chem., 7 /1971/ 89 és 7 /1971/ 281.
44. M. Valladon, J.L. Debrun, J. Radioanal. Chem., 39 /1977/ 385.
45. E.A. Schweikert, Advisory group meeting on applied nuclear

physics, San Jose, Costa Rica 9-13, May 1977. Panel
Proceeding Series, 1978, p. 1.

46. H.L. Finston, E.T. Williams, S.E. Bauman, S.H. Jacobson, A.H. Bond, Jr., J. Radioanal. Chem., 43 /1978/ 523.
47. E. Ricci, R.L. Hahn, Anal. Chem., 39 /1967/ 794.
48. D.M. Lee, S.S. Markowitz, J. Radioanal. Chem., 19 /1974/ 159.
49. H. Petri, C.S. Sastri, Radiochem. Radioanal. Letters, 21 /1975/ 225.
50. V.A. Muminov, S. Mukhammedov, B. Sultanov, A. Rakhmanov, Zh. Analit. Khim., 33 /1978/ 1137.
51. J.R. McGinley, L. Zikovsky, E.A. Schweikert, J. Radioanal. Chem. 37 /1977/ 275.
52. J.R. McGinley, G.J. Stock, E.A. Schweikert, J.B. Cross, R. Zeisler, L. Zikovsky, J. Radioanal. Chem., 43 /1978/ 559.
53. C. Friendly, B.D. Lass, E.A. Schweikert, J. Radioanal. Chem., 54 /1979/ No. 1-2. /megj. alatt/.
54. F.W.K. Firk, Ann. Rev. Nucl. Sci., 20 /1970/ 39.
55. T. Kato, J. Radioanal. Chem., 16 /1973/ 307.
56. B.L. Berman, Atlas of photonuclear cross sections obtained with monoenergetic photons, Atomic Data and Nuclear Data Tables, 15 /1975/ 319.
57. Ch. Engelmann, J. Radioanal. Chem., 6 /1970/ 399.
58. P. Bock, Ch. Engelmann, A. Hatterer, J. Radioanal. Chem., 38 /1977/ 97.
59. D.R. Williams, J.S. Hislop, A.P. Mead, T.W. Sanders, D.A. Wood, J. Radioanal. Chem., 48 /1979/ 213.
60. J.R. McGinley, E.A. Schweikert, J. Radioanal. Chem., 16 /1973/ 385.
61. J.R. McGinley, E.A. Schweikert, J. Radioanal. Chem., 16 /1973/ 385.
62. H.P. Weise, Chr. Segebade, J. Radioanal. Chem., 49 /1979/ 95.
63. H.P. Weise, Chr. Segebade, J. Radioanal. Chem., 37 /1977/ 195.
64. Ch. Engelmann, D.Y. Jerome, Practical Aspects of Activation Analysis with Charged Particles, EURATOM Symp., Liège, 1967, EUR 3896, d-e-f, p. 119.
65. G. Amsel, J.P. Nadai, E. D'Artemaere, D. David, E. Girard, J. Moulin, Nucl. Instr. Methods, 92 /1971/ 481.
66. I. Golicheff, M. Loevillet, Ch. Engelmann, J. Radioanal. Chem., 12 /1972/ 233.
67. E. Ligeon, A. Bontemps, J. Radioanal. Chem. 12 /1972/ 335.
68. E. Ligeon, M. Bruel, A. Bontemps, G. Chambert, J. Monnier, J. Radioanal. Chem. 16 /1973/ 537.
69. J.A. Borders, J.M. Harris, Nucl. Instr. Methods, 149 /1978/ 279.
70. K.L. Dunning, Nucl. Instr. Methods, 149 /1978/ 317.
71. A.J. Avery, E.E. Barratt, J.A. Grimshaw, F.J. Spooner, C.G. Wilson, J. Radioanal. Chem., 48 /1979/ 253.
72. G. Amsel, D. David, Rev. Phys. Appl., 4 /1969/ 383.
73. A. Turos, L. Wielunski, A. Barcz, Nucl. Instr. Methods, 111 /1973/ 605.
74. J. Bøttiger, J.S. Williams, P.S. Jensen, Nucl. Instr. Methods, 151 /1978/ 241.
75. L. Goenczi, H. Berggren, R. Didriksson, B. Sundquist, Nucl. Instr. Methods, 149 /1978/ 337.

76. I.S. Giles, C.O. Olivier, M. Peisach, J. Radioanal. Chem. 37 /1977/ 141.
77. G. Deconninck, G. Demortier, J. Radioanal. Chem. 24 /1975/ 437.
78. Y. Moriya, Y. Ato, S. Miyagawa, Nucl. Instr. Methods, 150 /1978/ 523.
79. M. Poncet, C. Engelmann, Nucl. Instr. Methods, 149 /1-3/, /1978/ 461.
80. Végh J., Berényi D., Koltay E., Kiss I., S. Seif El-Nasr, Sarkadi L., Nucl. Instr. Methods, 153 /1978/ 553.
81. Berényi D., Kiss I., Koltay E., S. Seif El-Nasr, Sarkadi L., Végh J., Izotóptechnika, 20 /9-10/, /1977/ 386.
82. K.M. Barfoot, I.V. Mitchell, H.L. Eschbach, P.I. Mason, W.B. Gilboy, J. Radioanal. Chem., 53 /1979/ 263.
83. H. Mommsen, K.G. Bauer, O. Fazly, T. Mayer-Kuckuk, P. Schuerkes, Forschungsber. Landes Nordh.-Westfalen, No. 2686, 1977, p.43.
84. R. Zeisler, J.B. Cross, A. Schweikert, Anal. Chem., 48 /1976/ 2124.
85. G.J. Stark, J.B. Cross, E.A. Schweikert, J. Radioanal. Chem., 54 /1979/ No. 1-2.
86. Löhner T., Mezey G., Kótai E., Nagy T., Manuaba A., Gyulai J., Izotóptechnika, 20 /1977/ 368.
87. E.S. Macias, J.H. Barker, J. Radioanal. Chem., 45 /1978/ 387.
88. L.O. Norlin, B. Orre, G. Possnert, K. Johansson, Phys. Scr. V., 17 /1978/ 439.
89. G. Possnert, C. Fahlander, B. Orre, H. Norde, S. Petersson, P.A. Tove, Phys. Scr. V. 18 /1978/ 353.
90. T.B. Pierce, J.W. McMillan, P.F. Peck, I.G. Jones, Nucl. Instr. Methods, 118 /1974/ 115.
91. C. Olivier, J.W. McMillan, T.B. Pierce, Nucl. Instr. Methods, 124 /1975/ 289.
92. C. Olivier, M. Peisach, T.B. Pierce, J. Radioanal. Chem., 32 /1976/ 71.
93. J.W. McMillan, F.C.W. Pummery, J. Radioanal. Chem., 38 /1977/ 51.
94. T.B. Pierce, J. Radioanal. Chem., 37 /1977/ 285.
95. H.R. Wilde, M. Roth, C.D. Uhlhorn, B. Gonsior, Nucl. Instr. Methods, 149 /1-3/, /1978/ 675.
96. J.F. Singleton, N.E.W. Hartley, J. Radioanal. Chem., 48 /1979/ 317.
97. W.S. Lyon, E. Ricci, H.H. Ross, Anal. Chem., 38 /1966/ 251R.
98. W.S. Lyon, E. Ricci, H.H. Ross, Anal. Chem., 40 /1968/ 168R.
99. W.S. Lyon, E. Ricci, H.H. Ross, Anal. Chem., 42 /1970/ 123R.
100. W.S. Lyon, E. Ricci, H.H. Ross, Anal. Chem., 44 /1972/ 438R.
101. W.S. Lyon, E. Ricci, H.H. Ross, Anal. Chem., 46 /1974/ 431R.
102. W.S. Lyon, H.H. Ross, Anal. Chem., 48 /1976/ 96R.
103. W.S. Lyon, H.H. Ross, Anal. Chem., 50 /1978/ 80R.
104. W.S. Lyon, Radiochem. Radioanal. Letters, 24 /1976/ 313.

A KOHÁSZAT ÉS GÉPIPAR GYORSÍTÓK FELHASZNÁLÁSÁVAL MEGOLDHATÓ ANALITIKAI IGÉNYEI

HEGEDŰS ZOLTÁN

CSM Fémtani és Technológiai Kutató Intézet, Budapest

Hazánkban 1965-ben megindult a nagytisztaságu (min.99,99 %-os) réz és nikkel féltermékek gyártása. Rendelkezésre álltak a szükséges vákuumindukciós, és elektronsugaras átolvasztó berendezések, a vákuum vagy nagytisztaságu szabályozott gázatmoszférás korszerű kemencék. A CSM Fémműve a nagytisztaságu réz (CuVNT, CuEOM, OFHC) és nikkel (NiVNT) féltermékek üzemi előállítását indította be, meglehetősen szigorú előírások szerint. A szennyezők megengedett maximális koncentrációi és a különböző módszerekkel kimutatott értékek az 1. és 2. táblázatban láthatók [1,2].

1. Táblázat

	CuVNT (ppm)	OFHC (ppm)	Tömegspekt. (ppm)	Szinké- p- elemzés (Vitry 3) (ppm)	Aktivációs elemzés 10^{13} neutron fluxus	
					mért (ppm)	mérhető (ppm)
S	1	12	-	3,5	-	-
P	0,5	1	-	0,7	-	-
As	1	2	-	1,1	0,1	0,0001
Ag	0,3	14	-	8,9	0,2	0,0003
Fe	5	6	-	-	0,2	0,045
Sb	1	4	0,007	6,7	-	-
Bi	1	0,4	-	-	-	-
Se	1	3	-	0,09	-	-
Te	1	1	0,004	-	-	-
Sn	0,5	1	0,003	-	-	-
Ni	1	5	-	-	-	-

2. Táblázat [4]

	NOO katód (ppm)	NiVNT (ppm)	Szinképelemzés [5] (ppm)
Co	40	40	2,5-10.000
C	30	150	-
Mg	3	10	0,6-12.100
Al	30	30	3-1.000
Si	10	10	3-50
P	1	1	-
S	3	5	-
Mn	3	10	0,4-4.000
Fe	20	50	2-5.000
Cu	7	10	1,5-2.600
Zn	2,5	10	-
As	4,4	10	-

A gyártás kézbentartására a hagyományos analitikai módszerek még nem voltak kielégítőek, a nikkel elemzését a hazai szinképelemzés adott időben nem tudja megoldani.

A nagy tisztaságú fémek előállításához kapcsolódó analitikai igényeket egyedül a neutronaktivációs elemzés tudja kielégíteni.

1965-ben Magyarországon már megvoltak a feltételei, a módszerek ki voltak dolgozva [6] ahhoz, hogy megfelelő neutronfluxus esetén az érzékenység, ill. a kimutathatósági határ felülmúlja az előírásokban még megengedett nagyon szigorú értékeket.

A CSM Fémműve részére a KFKI 1965-ben kidolgozta az Ag, Sb, Sn, Zn, As, Au, Se, O aktivációs meghatározását rézből, ill. a Cu, Sb, Bi, Mg, Al, Si, Cr meghatározását nikkelből. [3,7].

Az elvégzett aktivációs elemzések nagy segítséget nyújtottak a hazai nagy tisztaságú réz és nikkel gyártásban, azonban végső megoldást nem hoztak. A módszer előnyei mellett hátrányai is voltak. Ezek között említhető, hogy a vizsgálat neutrongenerátorhoz volt kötve, ezeket kémiai, analitikai célra (az oxigén meghatározást kivéve) csak esetenként lehetett használni.

A nagy tisztaságú rézben a szennyezők bonyolult kölcsönhatása miatt sokszor nem elég a 8-10 szennyező elem meghatározása, hanem a kölcsönhatást is figyelembe vevő vizsgálati módszerek szükségesek. Ezért ma a tiszta réz ellenőrzése maradék ellenállásméréssel, ill. a sokkal gyorsabb, kombinált termofeszültség differencia ellenállásméréssel történik. Ezek kontrollja, ill. esetleges kiegészítésére, amennyiben az egyes elemek koncentrációját is szükséges ismerni (pl. Pb, Te, Sn), úgy a tömegspektrográf mellett az aktivációs elemzés nyújt hasznos segítséget.

A nagy tisztaságú nikkel féltermékek gyártása nagyjából az elektroncsőgyártáshoz kapcsolódott. Itt elsősorban az NOO és NO elektrolit nikkel katód szennyezőinek pontos meghatáro-

zására, ill. a különböző vákuumindukciós, elektronsugaras olvasztási módok alkalmazásakor az aktivációs elemzés változásának megállapítására volt szükség. E téren az aktivációs analízis jelentős segítséget nyújtott az olvasztási technológia beállítására, elsősorban az elektroncsövek fűtőkatód mikroöt-vözőinek (0,04-0,06 % Mn) és aktiv szennyezőinek (Si) meghatározásában. Itt különösen előnyös volt az aktivációs elemzés direkt volta (nem igényelt összehasonlító etalonokat.)

Az aktivációs elemzés helyét és jelentőségét a hazai nagy-tisztaságú fém-félgégyártmányok előállításában a fizikai mérések, atomabszorpciós elemzés, tömegspektrométerek alkalmazása mellett a jövőben a következő területekre valószínűsíthetjük:

- réz etalon próbák direkt elemzése,
- színtémek egyes szennyezőinek elemzése,
- oxigén meghatározás acélokban, nyersrézben, anódrézben, vas- és rézsalakokban.

Az aktivációs elemzés a fémfeldolgozásban a jövőben sem lesz általános, napi elemzési módszer viszont egyes speciális elemzésekre, ill. az etalongyártásban a jövőben is nagy jelentőségű lesz.

Hivatkozások

- [1] Nagy T., Almáshegyi L.: Különleges Rézötvözetek Ankét 1965. p.26
- [2] OFHC News, 4 (1964) 1
- [3] Vorsatz B.: Különleges Rézötvözetek Ankét 1965. p.73
- [4] Tóth L.: Műszeripar, Híradás és Elektrotechnikai Fém Félgégyártmányok Ankétja, 1964. p.46-50
- [5] C. L. Levis, W. L. Ott, M. M. Sine: Analysis of Nickel, Pergamon. London, 1966. p.30
- [6] Ördögh M., Szabó E.: Magyar Kémikusok Lapja 71 (1965) 153
- [7] Csajka M., Ördögh M.: KFKI Közlemények 12 (1964) 5

GYORSÍTÓKKAL MEGOLDHATÓ ANALITIKAI FELADATOK A FÉLVEZETŐ IPARBAN

GYULAI JÓZSEF

MTA Központi Fizikai Kutató Intézete, Budapest

Bevezetés

A MeV energiájú részecskegyorsítók az anyagvizsgálatok rendkívül hasznos eszközeivé váltak. Segítségükkel, nem-roncsoló módon, mélységfüggő kémiai összetétel, nyomelem és - egykristályos anyagok esetén - szerkezet analízis végezhető. Kristályoknál a nyomelem analízis során meghatározható az adalékok (szennyezők) rácsbeli elhelyezkedése is. Speciálisan érzékeny a módszer a felületi oxigén borítottság, ill. a rácsállandónak a felület közelében való megváltozására. Kis atomi tömegű anyagnak nehéz elemekkel való szubmonoréteges borítottságának meghatározásában módszerünk versenytárs nélkül áll érzékenység tekintetében is.

Lényegében három módszer valósítható meg egymást kiegészítő módon az 1-5 MeV-es gyorsítók segítségével (e módszerek szinte azonos kiegészítő elektronikát igényelnek, ezért valóban kiegészítik egymást!): a könnyű részecskék (proton, He^+ , B^+ , C^+ , N^+ ; leggyakrabban He^+) rugalmas visszaszórása, az un. visszaszórásos spektrometria, BS, az e részecskék által keltett röntgenfluoreszcencia, ill. magreakció. A három módszer érzékenysége eltérő feladatokra eltérő lehet, ezért változtatva alkalmazhatók.

A BS különleges előnye, hogy abszolút összetételt és mélységet ad, ezért segítsége felbecsülhetetlen pl. olyan analitikai eljárások kalibrálására, amelyek érzékenységben általában felülmúlják (szekundér ion tömegspektrometria, SIMS).

Szerkezetvizsgálatban, a rácshibák kimutatásában viszonylag gyors a BS, ezért alkalmas előzetes vizsgálatok végzésére a transzmissziós elektronmikroszkópia mellett (ez utóbbi roncsoló és nehézkes minta-előkészítést igényel, de részletesebb információt ad).

Az analízis során használt nyalábméretetek a tized mm^2 nagyságrendjébe esnek, de 10-20 μm nyalábátmérő könnyen elérhető, 1-2 μm ma a csúcsteljesítmény.

A sokrétű információ mellett az eljárás megvalósításának anyagi feltételei egy 2 MeV-es Van de Graaff esetén nem nagyobbak, mint egy egycélú, de sok feladatra speciálisan érzékeny módszeré (SIMS, Auger elektron spektroszkópia stb.).

1. A módszer alapelve

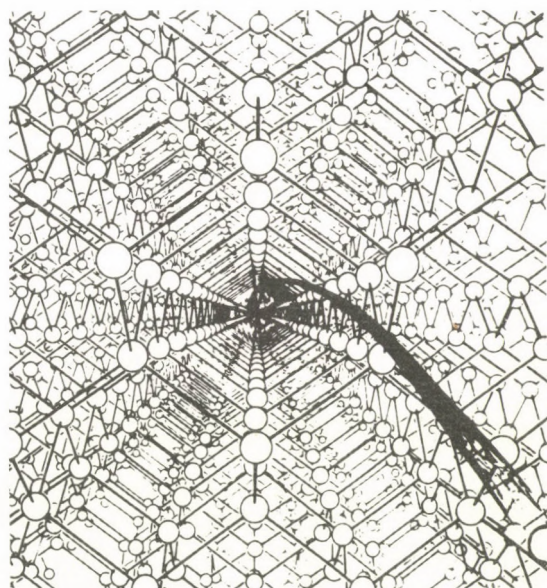
Ha azonos energiájú részecskék csapódnak egy tárgy felületére, akkor egy részük frontális, rugalmas ütközést szenved a tárgy atomjain. A (visszafelé) szóródó részecskék energiája a szóró atomok tömegétől függ. Ha tehát egy energiaérzékeny detektorba csapódnak a szórt ionok, és a különböző energiájú részecskéket "megszámláljuk", a tárgy tömegspektrumát kapjuk. Példaként, a He^+ ionok aranyról 96%-os, Si-ről 56%-os, oxigénről 32%-os energiával szóródnak vissza.

Ha a vizsgált atomok nem a felszínen vannak, a szondázó ionok befelé haladtukban, ill. az ütközést követően kifelé repülve is veszítenek az energiájukból. Ez az energiaveszteség közvetlenül a mélységgel arányos. Így a tömegspektrum kiegészül mélységskálával. Azaz, ha egy idegen anyag a felülettől befelé valamilyen eloszlással rendelkezik, annak spektruma, a kisebb He^+ energiák felé elnyulva, a valóságos eloszlás képét mutatja.

A szerkezeti információ abból adódik, hogy kristályos anyagokban a kristálytani tengelyekkel párhuzamosan belőtt ionok tartósan megmaradnak az atomsorok által alkotott "csatornák"-ban. Ekkor a visszaszórt részek száma - azonos mélységből - mintegy századrésze a nem-kristályos anyagokból szóródó részecske-számnak. A csatorna falát alkotó atomokat nem "látják" az ionok, így a szabályos atomsorban helyet foglaló idegen atomokat sem (1. ábra). A rácsközi térben ülő idegen atomok vagy rácshibák, azaz saját atomok a csatornában, szórják a beeső nyaláb ionjait, sőt különbséget lehet tenni diszlokációk, torlódási hibák, ikerkristályok stb. között.

Közeli tömegszámok esetén a spektrumok átfedése miatt az analízis lehetetlenné is válhat. Általában főkomponens analízisre a módszer százalék - tized százalék érzékenységgel. Nehéz atomok eloszlását mérve könnyebb mátrixban tized % érzékenység elérhető, kivételesen 100 ppm alsó határ is előfordul.

Azokban az esetekben, amikor kedvezőtlenek a tömegviszonyok, át lehet térni a részecskék által gerjesztett röntgensugárzás analízisére - bár ekkor elveszítjük az abszolút koncentráció-skálát és a mélységskála sem közvetlen - vagy keresünk egy alkalmas energián bekövetkező (d,p), (p, γ) stb. magreakciót és ennek termékét analizálva következtetünk az ismeretlen atomokra. E ponton csatlakozunk egy hazai cik-



1. ábra

Részecske a csatornában
(J.F. Ziegler)

lotron potenciális felhasználóinak köréhez. Az abszolút koncentrációs kálát ez utóbbi esetben is elveszítjük, a kalibráció elkerülhetetlen, a mélységre vonatkozó információ azonban nagyon pontos lehet, ha a gyorsító energiájának változtatásával megkeressük azt a mélységet, ahova a részecskék pontosan annyira lelassulva érkeznek, amennyire az a reakció kiváltásához szükséges. Speciálisan, gyakran használjuk az (α, α) rezonanciát oxigénre (3045 keV energián). Ilyenkor a visszaszórás hatáskelesztmetszete, amelyből a kimutathatóság alsó határa következik, mintegy husszorosára nő. Ilyen energián kimutatható kb. ezred monorétegnyi oxigénbevonat, vagy 100 ppm koncentrációt meghaladó eloszlás.

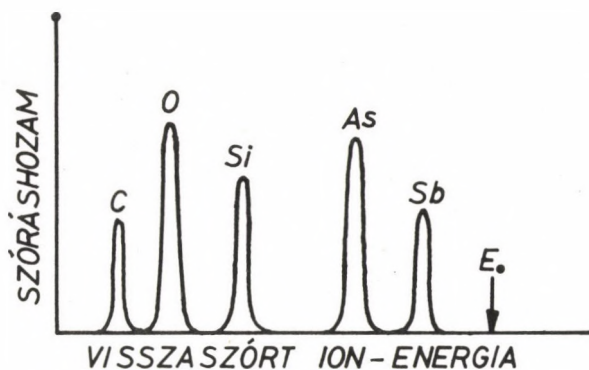
A 2-4. ábrák példát mutatnak különböző visszaszórási spektrumok tipikus alakjára. A 2. ábrán egy különböző anyagokból álló monoréteg spektruma látható, a 3. ábrán kétkomponensű, mélységben változó összetételű vékonyréteg spektrumát mutatjuk be. A 4. ábrán szilíciumban kialakított tranzisztor emitterének BS képét ábrázoltuk sematikusán. A spektrumok olvasásánál a különböző elemektől származó részeket összefektetve kell elképzelni, hiszen a mélységskála minden elemre külön rajzolando - ahogy ez az ábrán is látszik. Szaggatott vonallal a 4. ábrán olyan spektrumot mutatunk be, amelyet egy kristálytani tengellyel párhuzamosan beeső nyaláb hoz létre. Az arzén eloszlás is "eltűnik", mivel ezek az atomok rácspontokban ülnek.

2. Példák a módszer segítségével megoldott technológiai feladatok köréből

Az egyetlen spektrumból nyerhető sokrétű információ miatt valamennyi analitikai módszer közül a BS az, amely az elmúlt évtizedben a legszélesebb körben segített korábban hozzáférhetetlen feladatok megoldásában. Különösen a félvezető eszközök kutatása, fejlesztése és a mikrometallurgia köszönhet sokat a módszernek, de a korróziós vizsgálatok terén is sok eredményt e módszerrel értek el.

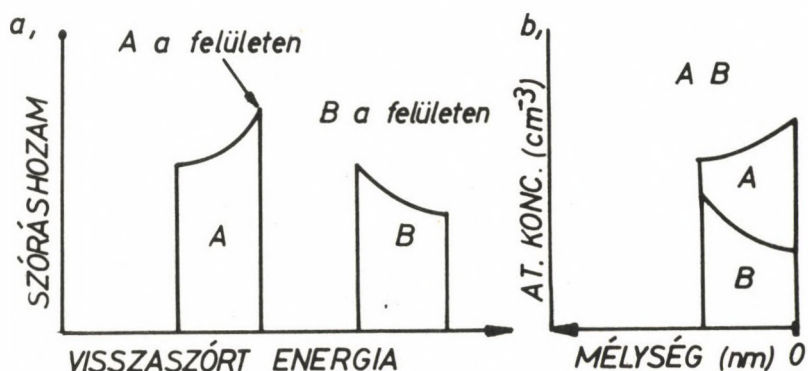
A félvezető technológiában fontos szerepet játszik a Si felületén létrehozott Si_3N_4 réteg. Ezt általában SiH_4 és NH_3 reakciójával hozzák létre a melegített Si lapkán. Fontos kérdés, hogy milyen gázkeverékek mellett keletkezik stöchiometrikus nitrid réteg. Az 5. ábrán [1] egy spektrum látható, mind "véletlen" irányból, mind csatorna-irányból felvéve. Az egykristályos Si lapkának megfelelő spektrum-rész érzi az orientálást. Ennek hasznát láthatjuk a nitrogén spektrum pontosabb leválasztásában. A 6. ábra a spektrumokból számított atomi sűrűségeket és a réteg sűrűségét mutatja be a $\delta = [\text{NH}_3]/[\text{SiH}_4]$ gázkeverék különböző eseteire. $\delta \geq 20$ -ra a réteg pontosan stöchiometrikus.

A diffúziós sebességek meghatározásakor a BS a konkrét profil kirajzolása mellett (7. ábra, [2]) a spektrum Si-ra vonatkozó részének analizálásával a diffúzió okozta rácstorzulások is



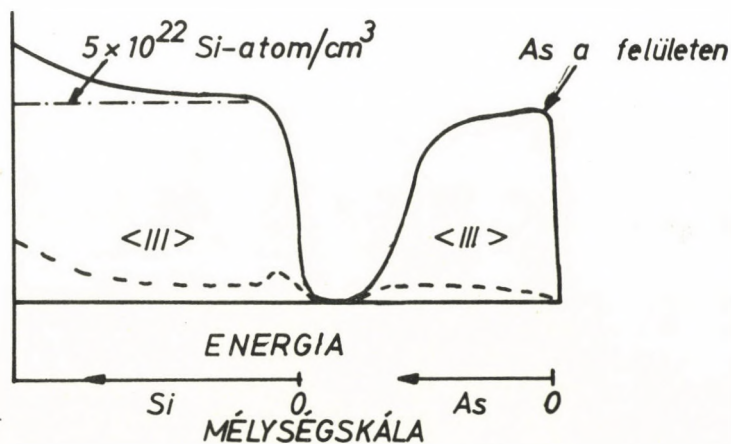
2. ábra

Monoréteg spektruma. A csúcsok magasságából az atomszám/cm² számítható



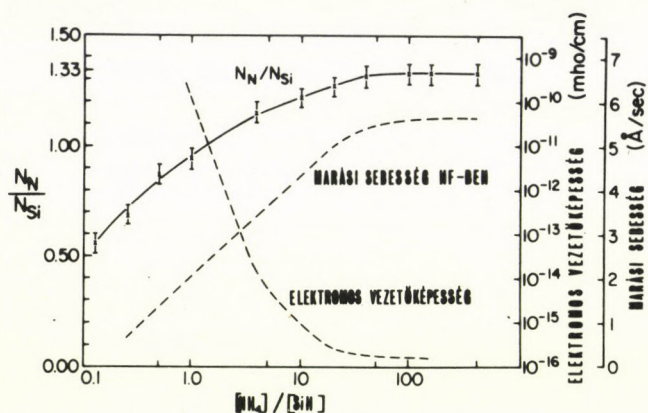
3. ábra

Kétkomponensű réteg spektruma (a) és annak kiértékelt alakja (b) már abszolút skálákkal



4. ábra

Arzén emitter szilíciumban. <111> irányból nézve az As atomok sem látszanak, mivel rácspontokban ülnek

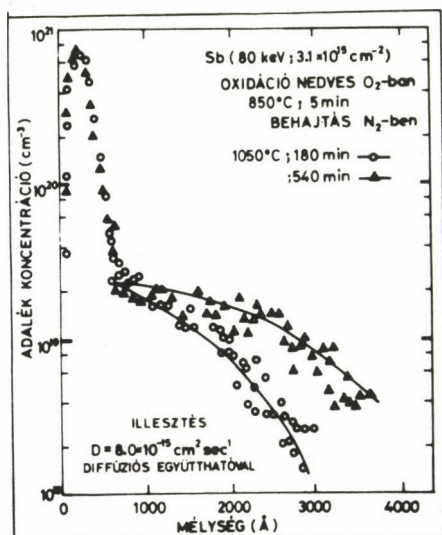
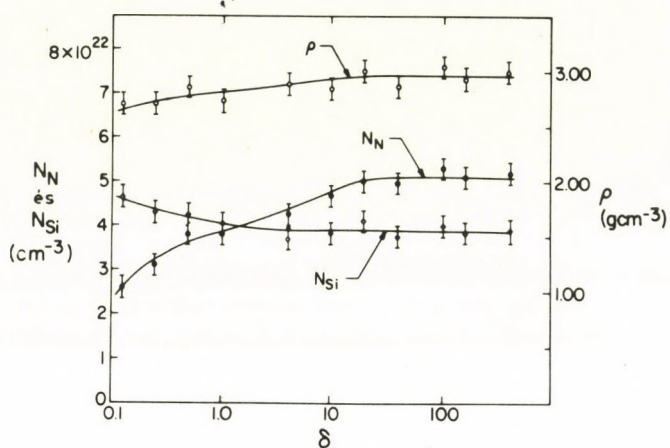


5. ábra

Összetétel a gázkeverék függvényében és annak kapcsolata egyéb rétegjellemzőkkel

6. ábra

Összetétel és sűrűség az előállítási paraméter függvényében (850°C)



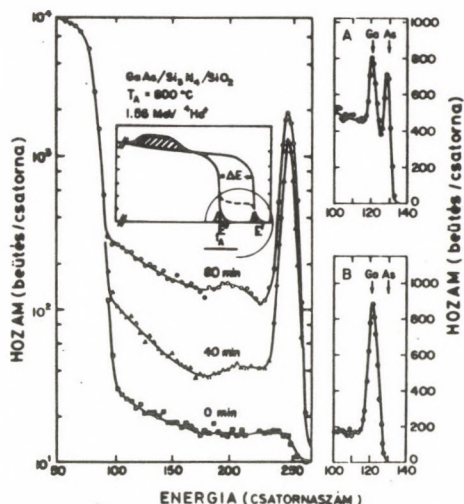
7. ábra

Diffúzió implantált forrásból, n^+ -n átmenet

mérhető. A roncsolásmentesség előnye, hogy a kísérlet - esetleg más metodikával - ugyanazon a szeleten folytatható.

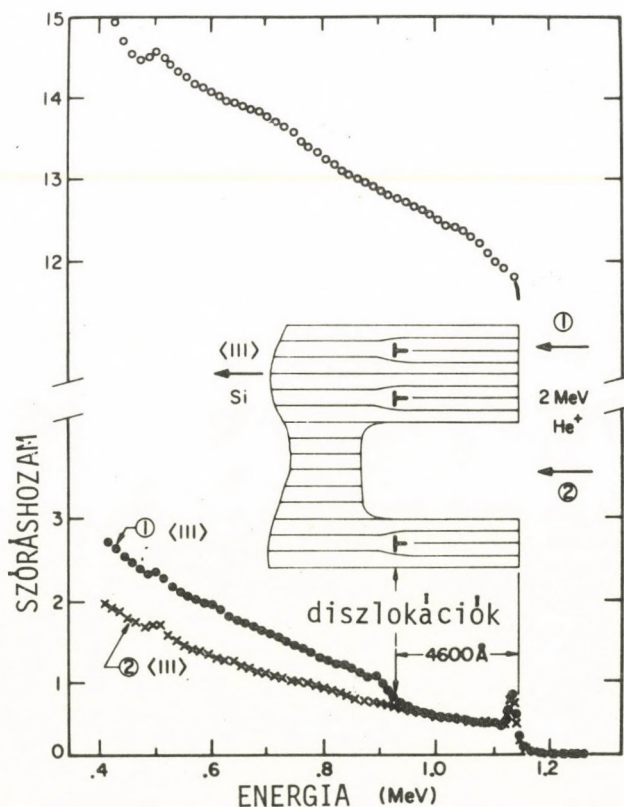
További példánkat a diffúzióra a ma egyre nagyobb jelentőségre szert tevő GaAs alapú félvezetőkutatásból vesszük: a GaAs védendő a technológiai hőkezelések során a termikus bomlástól. Ezt dielektrikum rétegek segítségével érik el. A 8. ábra egy GaAs(SiO₂) (Si₃N₄) "szendvics" hőkezelési eredményeit mutatja [3]. Látható a lebomló komponens kifelé irányuló diffúziója és a felületen való feldusulása. A Ga és az As közeli elemek, ezért BS módszerrel nehéz volt eldönteni, hogy a feldusuló komponens melyik a kettő közül (Ga).

A rácshibák megnövelik a csatornából való kiszóródást, ezért jelenlétük az orientált spektrumból kiderül. A 9. ábrán 460 nm mélységben levő illesztetlenségi diszlokációk okozták a lépcsőt a spektrumon. A marási gödörben mért spektrum nem mutat rácshibákat [4].



8. ábra

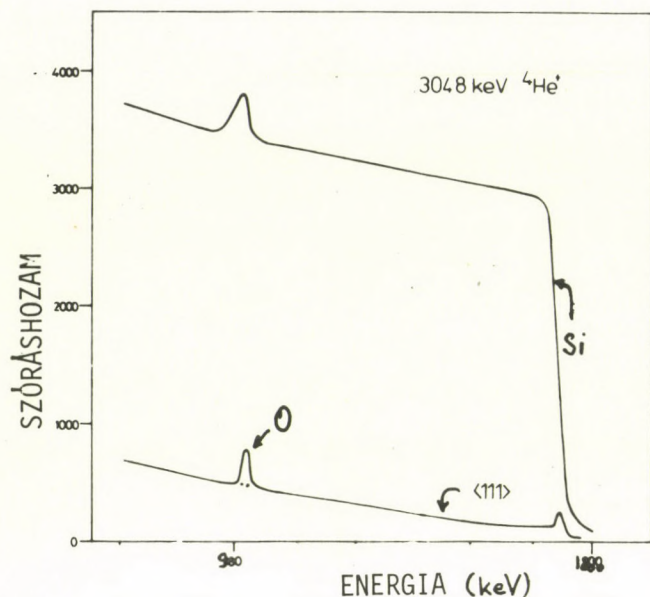
Ga és As bomlása és diffúziója védőrétegeken keresztül. Az ábrabetét mutatja, hogy a felületen feldusuló komponens Ga



9. ábra

Diszlokáció foszfor implantáció és hőkezelés után

Az oxigénkimutatás érzékenysége jól demonstrálható egy un. nativ (magától keletkező), mintegy 2-3 nm vastag oxidréteget bemutató spektrumon - ez esetben Si-on (10. ábra). Ezzel a módszerrel kimutatható pl. az is, hogy e vékony oxidok esetleges összetételi eltérései a rétegvastagság mérésére egyébként szokásos ellipszometriás mérést meghamisíthatják [5].



10. ábra
Vékony oxid Si-on,
rezonancia-energián mérve

3. Összefoglalás

A jelen rövid összefoglalás elsősorban az analitikai alkalmazások egy-két példáján próbálta bemutatni a BS módszer, a gyorsító eljárások hasznát a félvezető iparban. Mivel ma egy 2 MeV-es Van de Graaff és arra telepített elrendezés ára kb. 200 e\$, érthető, hogy ujabban már félvezető gyárak is vásárolnak gyorsítókat.

Nagyobb energiájú gyorsítók használna egyes analitikailag hasznos magreakciók létrehozásában (pl. H vagy Na meghatározás) nyilvánul meg. Lehet magreakciókkal célzott atom-konvertálást is végezni.

A gyorsítók egy speciális alkalmazása említendő meg mint a legújabb felhasználás: elektron tárológyűrűk segítségével létrehozott röntgensugárzással vagy szinkrotron sugárzással nagy tömegben és hihetetlen pontossággal lehet exponálni a félvezető integrált áramkörök előállításánál használt litográfiai lakkokat. Olyan hírekről hallani, hogy egyszerre néhány millió nagybonyolultságú áramkör exponálható ily módon.

Irodalom

Általános: W.K. Chu, J.W. Mayer, M. A. Nicolet: Backscattering Spectrometry (Academic Press, N.Y. 1978)

Gyulai J. Mezey G.: Szilárd testek vizsgálata MeV energiájú ionokkal, Szilárdtestkutatás újabb eredményei, szerk.: Gergely Gy. (Akad.Kiadó, megjelenőben)

- [1] J. Gyulai, O. Meyer, J.W. Mayer, V. Rodriguez, J. Appl. Phys. 42 (1971) 451
- [2] J. Gyulai, L. Csepregi, T. Nagy, J.W. Mayer, H. Müller, Le Vide No. 184 (1974) 416
- [3] J. Gyulai, J.W. Mayer, I.V. Mitchell, V. Rodriguez, Appl. Phys. Letters 17 (1970) 332
- [4] W.F. Tseng, J. Gyulai, S.S. Lau, J. Roth, T. Koji, J.W. Mayer, Nucl. Instr. Meth. 149 (1978) 615
- [5] G. Mezey, E. Kótai, T. Lohner, T. Nagy, J. Gyulai, A. Manuaba, Nucl. Instr. Meth. 149 (1978) 235

A GYORSÍTÓK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A TALAJMIKROBIOLÓGIÁBAN

HELMECZI BALÁZS

Agrártudományi Egyetem, Debrecen

A talajmikrobiológia tárgykörébe a talaj mikroszkópikus élővilága /a prokarióta; baktériumok, kéalgák, az eukarióta; algák, gombák, protozoák/ tartozik. A talajmikroorganizmusok fiziológiai, biokémiai, genetikai stb. tulajdonságainak vizsgálata azért is nagy nehézségekbe ütközik, mert az említett élőlénycsoportok a talajban nemcsak egymással és a csoporton belül alkotnak meghatározott biocönózisokat /metabiózis, szimbiózis, antibiózis, parazitizmus/, hanem az ott élő makroszkópikus növény- és állatvilággal is igen szoros kapcsolatban vannak. E szoros kapcsolat megbontása és a társulást alkotó egyes fajoknak a természetes biotópon kívüli elszigetelt vizsgálata, azzal a veszéllyel jár, hogy a faj biocönózisban betöltött szerepe, pontosan nem regisztrálható. A probléma másik oldalról is fennáll, mert a biocönózisban kapott vizsgálati eredmények, az egyes fajokra nem általánosíthatók. /Kevert-, illetve tisztatenyészetek problémája./

Speciális problémaként jelentkezik, hogy amíg más területen /pl. orvosi-, állatorvosi-, növénykórtani mikrobiológiában/ a patogén szervezetek pusztítására, addig a talajmikrobiológiában zömmel a hasznos mikroorganizmusok kedvező feltételeinek biztosítására, szaporítására kell törekedni. Nehézséget jelent az a körülmény is, hogy amíg a mikroorganizmusok alig 10 %-át kitevő patogén szervezetekkel oly sokan és olyan eredményesen foglalkoznak, addig a nagy tömeget képviselő hasznos szervezetre alig-alig figyelnek. Megítélésünk szerint, ennek okát nemcsak a talajmikrobiológia tudományának fiatalságában - amely Waksman /1/ szerint "aranykorát" a szd. fordulón élte - kell keresnünk, hanem abban is, hogy a nagy elődök megtanítottak bennünket a mikroorganizmusoktól való félelemre, miközben "megfeledkeztünk" a barátokról és csak az ellenségekre figyeltünk. Még ma is elég erősen hat az a - Koch-tól származó - megállapítás, amely szerint "... a baktériumok ellen nem segít a bátorság, csak az óvatosság". Így aztán, "pusztán óvatosságból", az emberiség védelme érdekében, általában pusztításukra szövetkeztünk. E helyen azonban, a gyorsítók alkalmazásának lehetőségeit nem a mikroorganizmusok pusztítása, hanem védelme és szaporítása, tevékenységük elősegítése szempontjából vizsgáljuk.

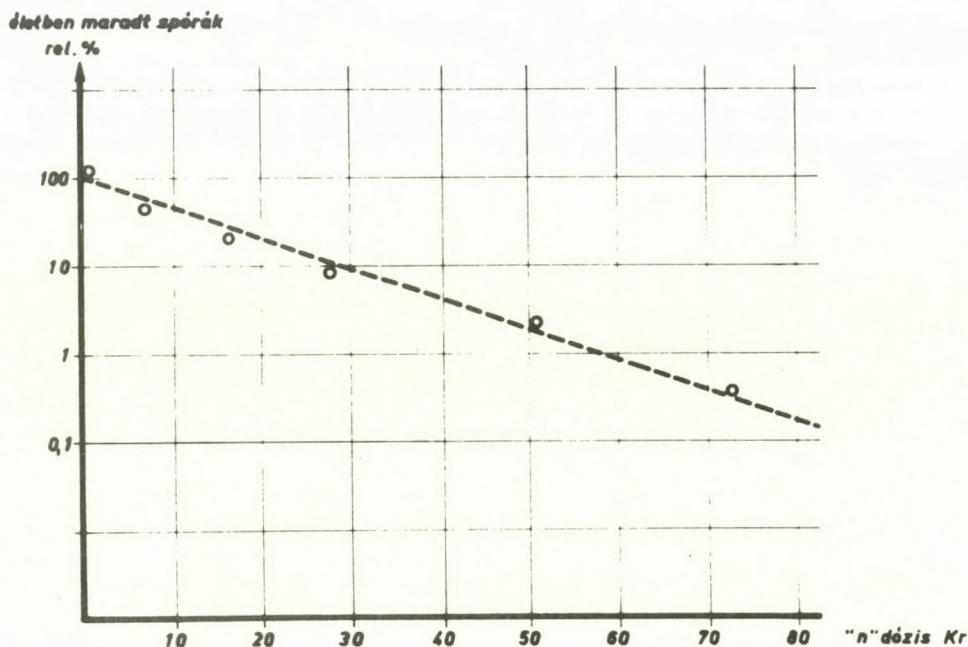
I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS, SAJÁT VIZSGÁLATOK

Az utóbbi évtizedekben elterjedtek azok a vizsgálatok, amelyek révén egyes kutatók azt igyekeznek kideríteni, hogy a különböző mikroorganizmusok miként reagálnak olyan fizikai behatásokra, mint az ultrahang-, gamma-, röntgen-, ultraibolya- és neutron besugárzás. Ilyen vizsgálatok során vált ismeretessé, hogy szuszpenzióban besugárzott különböző baktérium törzsek ultrahang besugárzás hatására - 10 watt/cm^2 felett - elpusztulnak, testük széttöredezik. Az ide vonatkozó vizsgálatok első eredményeit Warnecke /2/, Bergmann /3/, Stelter /4/ foglalták össze. Kisebb intenzitás, illetve ultrahang esetén viszont a baktériumokon - Synowiedzky-Topa-Boldok /5/, Knaysi-Curran /6/ - megváltozott morfológiai és fiziológiai tulajdonságokat, fokozott növekedést és stimuláló hatást tapasztaltak. Gombák, illetve gombaszuszpenziók ultrahangos kezelése során is - Wolters /7/ - hasonló eredményre jutottak; vagyis a kis dózisok $/2-2,5 \text{ watt/cm}^2/$ és rövid /mindössze néhány perces/ besugárzási idő a gombák szaporodását és növekedését serkentette. Nagy dózisok $/20 \text{ watt/cm}^2/$ és hosszabb $/10-30 \text{ perc}/$ besugárzási idő viszont letalitást, illetve fungicid hatást váltott ki.

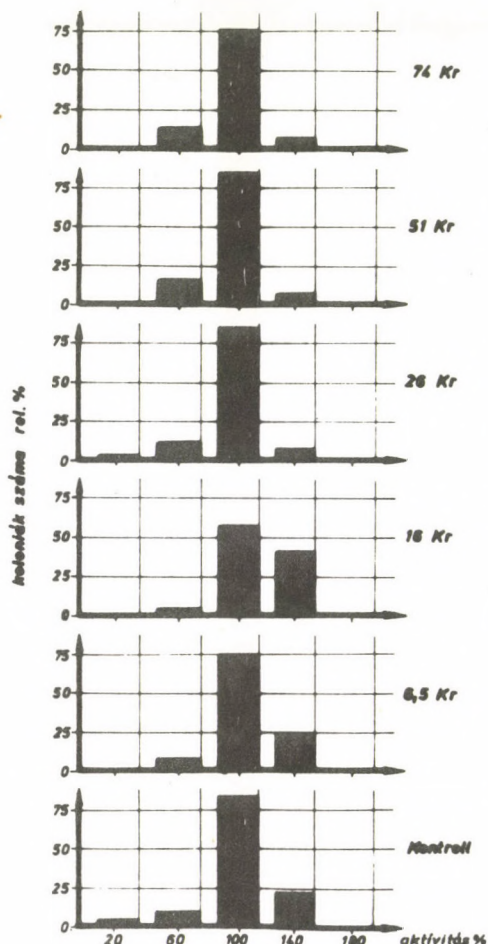
- 1./ Az irodalmi adatok részletesebb felsorolása nélkül is megállapítható, hogy azok, a címben foglalt feladat megoldásához - az alábbi okok miatt - csak tájékoztató jellegű segítséget nyújtanak.
 - a/ A vizsgálatokat általában nem talajmikroorganizmusokkal /főleg *Escherichia coli*-val/ végezték.
 - b/ A kísérleteknél nem gyorsítókat, hanem ultraibolya, ultrahang stb. besugárzást alkalmaztak.
 - c/ A vizsgálatok - mint azt Elkind és Whitmore /8/ is megállapítja - elsősorban a letális dózis /LD, illetve LD 50/ megállapítására irányultak.
- 2./ A témakörrel szorosabb összefüggést mutatnak Huczkowski és munkatársai /9/, Wolf és munkatársai /10,11/, valamint Wojciechowski és munkatársai /12/ közleményei. Utóbbi szerzők ciklotronban 6,5-75 Krad neutron dózissal vizes szuszpenzióban sugároztak be *Streptomyces* spórákat és a besugárzás dózisának függvényében a spórák szaporodását mérték /1. ábra/.

A szaporodással egyidőben mérték a besugárzott spórákból nyert *Streptomyces* coloniák antibiotikum produkcióját is és megállapították, hogy az antibiotikum termelés a 16 Krad-dal besugárzott spórákból nőtt coloniáknál volt a legnagyobb. /2. ábra/.
- 3./ A kapcsolódó saját vizsgálati eredményeinkről az alábbiak szerint számolunk be. Az 1970-es évek elején vizsgálni kezdtük, hogy különböző besugárzásokkal az aerob N_2 -kötő baktériumoknál /*Azotobacter chroococcum*/ lehetséges-e a N_2 -kötést stimulálni.

1. ábra. NEUTRON BESUGÁRZÁS HATÁSA STREPTOMYCES SPÓRÁKRA



2. ábra. NEUTRONNAL BESUGÁRZOTT STREPTOMYCES SPÓRÁK
ANTIBIÓTIKUM TERMELESE

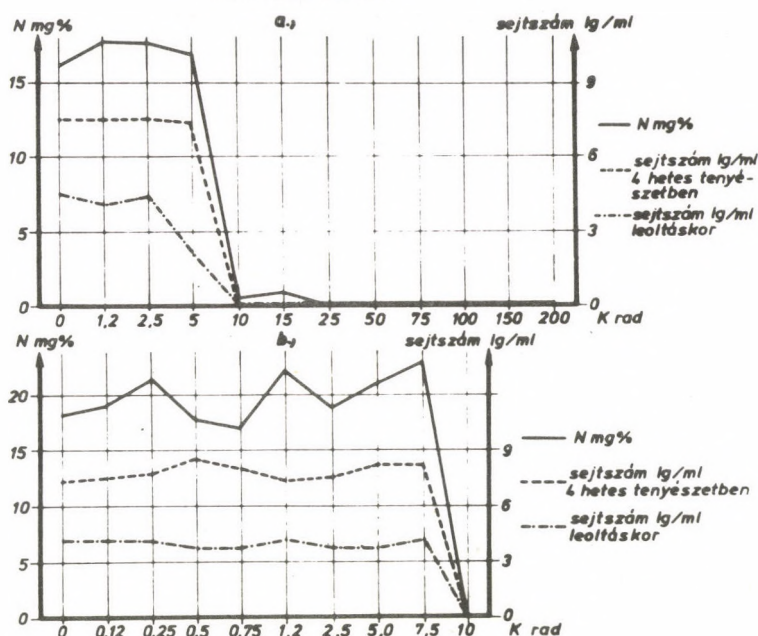


Vizsgálataink azt mutatták, - Helmeczi-Nagy /13/ -, hogy az egyes fizikai hatások /ultrahang, diathermiás melegítés stb./ kedvezően befolyásolják a vizsgált talajbaktérium N_2 -kötő képességét.

Az eredmények ismeretében vizsgáltuk a neutron besugárzás Azotobacter chroococcum szaporodására és N_2 -kötő képességére gyakorolt hatását is. A neutron besugárzásokat a BME Tanreaktorában 1 KW-teljesítmény mellett 1,2-200 Krad dózissal végeztük. A besugárzási időt 7-1200 sec-ig változtattuk abból a célból, hogy az esetleges SD és LD értékeket is meghatározhassuk.

Eredményeink azt mutatták, hogy alacsony dózis értékeken gyengén növekvő N_2 -kötés érhető el. Az LD 50 értéket 5-10 Krad között, míg az LD értéket 10 Krad fölött találtuk. /3. a-b. ábra/

3. ábra. NEUTRON BESUGÁRZÁS HATÁSA AZ AZOTOBACTER CHROOCOCCUM N₂-KÖTŐ KÉPESSÉGÉRE ÉS SZAPORODÁSÁRA



Az említett méréseket - a kapott tájékoztató adatok alapján - kedvezőtlenül befolyásolta az a körülmény, hogy a reaktorban kb. ugyanolyan dózis mellett gamma besugárzás is történt, amelytől a mintákat mentesíteni nem tudtuk. Kedvezőtlen tényezőként említhető, hogy a besugárzó neutronok nem monoenergetikusak, széles energia-spektrumot átfognak és mint ismeretes 1 MeV-nél van az átlagos energiaértékük. Éppen ezért - ha erre a ciklortronnal előállított neutronok segítségével lehetősé-
günk lenne - méréseinket "tisztább" körülmények között, zavaró gamma háttér nélkül szeretnénk megismételni.

II. A PROBLÉMÁK, LEHETŐSÉGEK FELVETÉSE

A teljesség igénye nélkül kívánunk néhány olyan problémát felvetni, amelynek megoldásában a "gyorsítók" esetleges alkalmazása segítségünkre lehetne.

1./ Biológiai N₂-kötés

Közismert, hogy a levegő N₂-jét a magasabbrendű növények nem tudják hasznosítani. A természetes elektromos jelenségektől eltekintve, a levegő szinte kimeríthetetlen nitrogén készlete alapvetően két uton válik a magasabbrendű növények számára is felvehető N vegyületekké. E két ut egyike, a ma már jól ismert technikai /kémiai/ N₂-kötés, amelynek elvi alapjait az említett természeti jelenségek képezik. A molekuláris N₂ megkötésének másik utja a biológiai N₂-kötés, amely a talajban élő egyes mikroorganizmusok élettevékenységének eredménye. Ezek az élő "reagensek", katalizáló berendezésük nagy teljesítőképessége folytán,

másként kötik meg a molekuláris N_2 -t, mint az iparban használatos eszközök. A mikroorganizmusok a folyamat közben kopnak, sőt állandóan "ujra-termelődnek" - szaporodnak -, s ez teszi őket e-fontos "művelet" gazdaságos és hatékony tényezőivé. E folyamatnak a N vegyületek egyensúlya szempontjából a természetben általában, de különösen a mezőgazdasági termelésben van nagy jelentősége. Elgondolkodtató, hogy a N_2 -kötő mikroorganizmusok által megkötött N mennyisége Amarger és Langacherie /14/ szerint, világviszonylatban még mindig ötször-tízszer akkora, mint a műtrágyákkal talajba juttatott N. Külön figyelmet érdemel, hogy a N_2 -kötő mikroorganizmusokban működő nitrogenáz enzim által katalizált folyamat energia igénye, - a felvehető N-re számítva - csak felét teszi ki annak az energiának, mint amit a műtrágyát előállító gyárak igényelnek. Az N_2 -kötő szervezetekkel foglalkozva Burris /15/ Delwiche nyomán 100, Burris-Hardy alapján 200 millió tonnában jelöli meg az általuk világviszonylatban és évente megkötött N mennyiségét.

Ami pedig a problémát jelenti az, hogy bár a legfontosabb és legismertebb N_2 -kötő baktériumokat már Vinogradszkij - *Bakterium radicicola*, mai néven *Rhizobium* /1893/, *Clostridium* /1895/ - és Beijerinck - *Azotobacter* /1901/ - felfedezte, a rájuk vonatkozó ismeretek még jelenleg is hiányosak. A tisztázásra váró fontosabb kérdések:

- a/ Az N_2 -kötő szervezetek hogyan, milyen kémiai mechanizmus szerint kötik meg a levegő szabad nitrogénjét.
- b/ Az említett becslések 100 %-os eltéréséből is látható, hogy még ma sem pontosan ismerjük, hogy évente és hányszor /adott talajtípuson/ a N_2 -kötők milyen mennyiségű N-produkciójával számolhatunk.
- c/ Nem tudjuk, hogy milyen eljárásokkal lehetne jelentősen növelni a baktériumok N_2 -kötő képességét.
- d/ Nem ismerjük, hogy a megváltozott technológiák /pl. kezelt sztráza; a peszticidek, műtrágyák, stb./ hogyan és milyen mértékben befolyásolják a N_2 -kötő baktériumok tevékenységét.

2./ Cellulóz-bontás, mineralizáció és humifikáció

Nem tudjuk, hogy miként lehetne serkenteni a talaj cellulóz-bontó baktériumait, sugárgombáit és gombáit az intenzívebb cellulóz-bontásra, ami a mind nagyobb tömegű származékanyag, egyéb melléktermékek talajba kerülésével egyre sürgetőbb feladatot jelent. Vannak ugyan adatok, de nem pontosan ismertek a mineralizáció és humifikáció közötti arányok. Ezek a kérdések a talaj humuszgazdálkodása, a talaj termékenységének fenntartása és fokozása szempontjából gyors és pontos választ igényelnek.

3./ Antibiotikumot termelő mikroorganizmusok

A talajmikroorganizmusok között számos olyat ismerünk, /Sugárgombák, Gombák, Baktériumok/ amely jelentős mennyiségű antibiotikum termelésére képes. A fajok antibiotikum termelése növelésének módszerei eléggé ismertek, mégis felmerül a kérdés, hogy újabb eljárásokkal /pl. gyorsítókkal/ nem lehetne-e azokat eredményesebbé és gazdaságosabbá tenni. Ilyen jellegű kísérleteket néhány kutató már végzett és eredményeik biztatóak. /L. 1-2. ábra/.

4./ A mikroorganizmusok mikroelem igénye

Vannak adatok, amelyek azt igazolják, hogy a talajban előforduló mikroorganizmus csoportok- és fajok, meghatározott mikroelem igényel rendelkeznek. Ezen igények kvantifikálása azonban még nem tekinthető megoldottnak. Nem ismertes, hogy a különböző fajok milyen mikroelemeket, s azokból milyen mennyiséget igényelnek. Ebből következően azt sem tudjuk, hogy az egyoldalú műtrágyázás következtében egyes talajtipusokon már észlelt mikroelemhiány /esetleg relativ feldusulás/ milyen mértékben befolyásolja a mikroorganizmusok szaporodását, hogyan hat tevékenységükre.

5./ Mycobacteriumok szerepe a talajban

A különböző fiziológiai csoportba tartozó baktériumok, gombák stb. szerepét az anyagok körforgalmában még jelenleg is csak hozzávetőlegesen ismerjük. Közismert pl. hogy a talajban a Mycobacterium tuberculosis patogén szervezettel azonos genus-ba tartozó számos szaprofita species él. Ezek közül több, mint 20 fajhoz tartozó közel 400 törzset izoláltunk /Szelényi, Berencsi, Helmeczi/ különböző talaj- és trágyamintákból, de azt bizonyítani, hogy ezek milyen szerepet játszanak a talaj biocönózisában, az anyagok körforgalmában, eddig nem sikerült.

6./ A mikroorganizmusok /főleg baktériumok/ számának meghatározása, a különböző fajok izolálása, identifikálása

A baktériumok számának meghatározására kialakult módszerek nem megbízhatóak. Felmerülhet a kérdés, hogy megfelelő szűrési eljárások kidolgozása után, miként lehetne a gyorsítókkal a szűrletben maradt sejtek számát /pl. a gyorsított részecske, energia szintjének csökkenése alapján/ az eddigi módszereknél gyorsabban, esetleg pontosabban meghatározni.

Az izolálási, illetve identifikálási módszerek ugyan megbízhatóak, de hosszadalmasak. Kérdés, hogy a különböző fajoknak nincs-e olyan specifikus érzékenységük a gyorsított részecskékkel szemben, amely elválasztásukat az LD, vagy az LD₅₀ alapján lehetővé tenné.

ÖSSZEFOGLALÁS

Előadásunkban érzékeltetni szeretnénk volna, hogy a gyorsítók alkalmazásának lehetőségei egészen másként merülnek fel a talajmikrobiológiában, mint más tudományok területén. Az irodalmi adatok alapján látható, hogy a gyorsítók talajmikrobiológiai alkalmazásának gyakorlata még nem alakult ki. Az eddigi igen szerény tapasztalatok alapján úgy véljük, hogy alkalmazására elsősorban az alábbi területeken kerülhet sor, merülhet fel igény:

1. Mutációs genetikai vizsgálatok
2. Stimulációs effektusok vizsgálata /"tisztá" neutronnal, vagy protonnal/
3. Aktivációs analitika /gyors neutronokkal, talajbesugárzás/

A felvetett problémák talán lehetőséget adnak arra, hogy a gyorsítókhoz értő szakemberek elgondolkodjanak és ötletet, segítséget adjanak azok megoldásához.

IRODALOM

- 1 Waksman, A.S.: Soil Microbiology, New York. 1952.
- 2 Warnecke, B.: Bakteriologische Ultraschallstudien. 138, 17-55. 1953.
- 3 Bergmann, L.: Der Ultraschall. 6. Aufl. Stuttgart. 1954.
- 4 Stelter, I.: Mikrobiologische US - Wirkungen. Westdeutsch. Verl. Köln-Opladen. 1956.
- 5 Synowiedzky, Z. et al.: Application of Ultrasonic Waves in Biologic Research to Obtain Highly Effective Strains for Production of Antibiotics. 7. 289-293. 1957.
- 6 Knaysi, G. - Curran, H.R.: Effects of Some Mechanical Factors on the Endospores of Bacillus subtilis. 82. 691-702. 1961.
- 7 Wolters, K.: Zur Wirkung von Ultraschall. Westdeutscher Verl Köln - Opladen. 1958.

- 8 Elkind, M.M. - Whitmore, F.G.: The Radiobiology of Cultured Mammalian Cells. Gordon and Breach. New York. 1967.
- 9 Huczkowski, J. - Gacek, E. - Wojciechowski, H.: Biological Effects on Neutron Irradiation, IAEA. Vienna 49 p. 1974.
- 10 Wolf, J. - Huczkowski, J. - Siejko, D.: The Effects of Fast Neutron Irradiation on Actinomyces Using the U-120 Cracow Cyclotron as a Neutron Source, Institute of Nuclear Physics. Rep., to be published. 1975.
- 11 Wolf, J. et al.: The Use of Fast Neutron from the U-120 Cyclotron for Producing Mutations in Microorganisms to Improve the Yield of Metabolite, - will be published. 1976.
- 12 Wojciechowski, J. et al.: Second Symposium on Neutron Dosimetry in Biology and Medicine Neuherberg. München. Sept. 30 - okt. 4. 1979.
- 13 Helmeczi, B. - Nagy, J.: Agrártudományi Közlemények, 33. 91-100. 1974.
- 14 Amarger, N. - Langacherie, B.: La fixation biologique de l'azote Une ressource naturelle a mieux exploiter. C.R. Se'and Acad. Agric. Fr. Paris, 60. 13. 1072-1083. 1974.
- 15 Burris, R.H.: Overview of nitrogen fixation. Basic Life Sciences, New York. Plenum, 9. 9-18. 1977.

IZOTÓPTERMEELÉS GYORSITÓKKAL

LENGYEL TAMÁS

MTA Izotóp Intézete, Budapest

Előljáróban legyen szabad a kissé általánosan megfogalmazott cím mögött sejthető ismeretanyagot valamelyest szűkíteni. E szűkítést azért tartom indokoltnak, mert az előadás időtartama korlátozott, négy esztendővel ezelőtt hasonló címmel az ATOMKI rendezésében elhangzott és az ATOMKI Közleményekben írásban is megjelent egy összefoglaló Dr Veres Árpád tollából, egy évvel ezelőtt pedig az orvosi célú alkalmazásokról rendezett az ATOMKI és a DOTE tudományos ülést e szűkebb szakma prominens képviselőinek bevonásával.

Mindezek alapján megkísérlem mondanivalómat a Debrecenben létesítendő U-103 típusu ciklotron által biztosítható lehetőségek figyelembevételével koncentrálni, mérlegelve a Műszaki Tudományos Tanácskozás keretében sorra kerülő előadásban összefoglalt, a ciklotronhoz kapcsolódó laboratórium építésével kapcsolatos terveket is.

A termékválaszték kialakításánál a következő szempontok érvényesítése látszik célszerűnek:

- A ciklotron viszonylag drága üzeme miatt reaktorban is termelhető izotópok /pl. ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{55}Fe / előállítása nem kívánatos;
- A ciklotrontermékek közül azokra célszerű koncentrálni, amelyek kedvező hozammal állíthatók elő és amelyek iránt megalapozott igény nyilvánul meg;
- Figyelembe kell venni a technikai adottságokat, elsősorban a terméknuklid felezési idejét, és - ezzel összefüggésben - a forgalmazási, ezen belül a processzálas, minőségellenőrzés stb. időszükségletét is;
- A ciklotron-program első közelítésben ne maximalista, hanem a reális célkitűzések figyelembevételével induljon.

A beszerzés alatt álló ciklotron nyalábadatairól rendelkezésre álló információkat az I. táblázat foglalja össze.

I. táblázat

Az U-103 ciklotron főbb adatai

Részecske	Energia, MeV		Intenzitás, / μ A	
	belső nyaláb	külső nyaláb	belső nyaláb	külső nyaláb
p	2-20	5-18	300	50
d	1-11	3-10	300	50
$^3\text{He}^{2+}$	4-28	8-28	50	25
$^4\text{He}^{2+}$	2-22	6-21	50	25

A táblázat adatai alapján a potenciálisan előállítható izotópok - felezési idejüknek megfelelően - három főbb csoportba sorolhatók.

1. Extrém rövid felezési idejű izotópok

E nuklidok közös jellemzője, hogy a rövid felezési idő folytán processzálási műveletre általában nem kerülhet sor, aminek következménye, hogy az előállított izotópok

- megfelelő radionuklidos tisztaságának biztosítása érdekében fokozott gondot kell fordítani a target tisztaságára és a besugárzási technológiai fegyelem betartására,
- elemi vagy csak igen egyszerű vegyületek formájában alkalmazhatók.

A figyelembe vehető izotópok főbb adatait a II. táblázat foglalja össze.

II. táblázat

Extrém rövid felezési idejű izotópok adatai

Magreakció	Terméknuklid felezési ideje
$^{14}\text{N}/\text{p}, \alpha / ^{11}\text{C}$	20,3 perc
$^{12}\text{C}/\text{d}, \text{n} / ^{13}\text{N}$	10,0 perc
$^{16}\text{O}/\text{p}, \alpha / ^{13}\text{N}$	10,0 perc
$^{14}\text{N}/\text{d}, \text{n} / ^{15}\text{O}$	2,1 perc

Az előállítás menetének főbb lépéseit és az alkalmazási területet illetően említésre érdemes, hogy a ^{13}C esetében nitrogéngázt alkalmaznak célanyagként és az előállított jelzett szén-monoxid segítségével tüdő-ödéma diagnosztizálása, valamint a lép scannelése végezhető el, minimális sugárterhelés mellett [1]. A hozam $1,2 \text{ MBq}/\mu\text{A.s}$ / $120 \text{ mCi}/\mu\text{A óra}$ /.

A ^{13}N elemi formában a tüdő perfúziós viszonyainak, a levegőellátás elégtelenségeinek kimutatását [2], jelzett ammónia formájában pedig miokardiális vizsgálatok elvégzését teszi lehetővé. Célanyagként szén-monoxid vagy desztillált víz szolgál, a hozam $0,14 \text{ MBq}/\mu\text{A.s}$ / $13,8 \text{ mCi}/\mu\text{A óra}$ /.

Az ^{15}O elemi formában az agy oxigénellátottságának felderítésére alkalmas. A target ebben az esetben nitrogéngáz, amelyet folyamatosan bocsátanak át a 6-7 MeV energiájú deuteronnyaláb útjába helyezett, alkalmasan kiképzett edényen [3].

2. Közepes felezési idejű izotópok

A közepes felezési idejű izotópok közül azok előállítása emelhető ki, amelyekre vonatkozóan a magreakció küszöbenergiája biztosítható, ill. amelyek az adott paraméterű kompakt ciklotronban megfelelő hozammal nyerhetők.

E termékeknel már lehetséges, sőt szükséges a processzálás, ami történhet a ciklotronhoz telepített forró fülkékben, vagy más telephelyen, így az Izotóp Intézetben is. Az "in situ" termelés mellett szól a kisebb idővesztés, ellene, hogy még minimális program esetén is több forró fülke beállítása mutatkozik szükségesnek. Az ebbe a csoportba tartozó nuklidok előállítására vonatkozó adatokat a III. táblázat foglalja össze.

III. táblázat

Közepes felezési idejű izotópok adatai

Magreakció	$T_{1/2}$	Hozam	
		$\text{kBq}/\mu\text{A.s}$	$\text{mCi}/\mu\text{A.h}$
$^{122}\text{Te}/\text{d},\text{n}/^{123}\text{I}$	13 h	1,0	0,10
$^{122}\text{Te}/^3\text{He},2\text{n}/^{123}\text{Xe} \xrightarrow{\text{K}} ^{123}\text{I}$	13 h	5,4	0,53
$^{123}\text{Te}/\text{p},\text{n}/^{123}\text{I}$	13 h	4,5	0,44
$^{124}\text{Te}/\text{p},2\text{n}/^{123}\text{I}$	13 h	270	24

$^{67}\text{Zn}/\text{d},2\text{n}/^{67}\text{Ga}$	78 h	1,3	0,12
$^{64}\text{Zn}/\alpha,\text{n}/^{67}\text{Ge} \xrightarrow{\beta+} ^{67}\text{Ga}$	78 h	0,7	0,07

$^{112}\text{Cd}/\text{p},2\text{n}/^{111}\text{In}$	67 h	4,1	0,40

Külön kell szólnunk arról, hogy a ^{123}I előállításánál a korlátozott protonenergiák miatt az általában alkalmazott $^{127}\text{I}/\text{p}, 5\text{n}/^{123}\text{Xe} \xrightarrow{\text{K}} ^{123}\text{I}$ magfolyamat nem jöhet számításba, ezért targetként valamennyi esetben dúsított tellurizotópot kell használni, amelynek ára 2-15 $\$/\text{mg}$, de rubel-elszámolásban is tetemes. A gazdaságosság biztosítása érdekében ezért itt célszerű a target időről-időre történő regenerálása is.

A különben kedvező hozammal végbemenő $^{124}\text{Te}/\text{p}, 2\text{n}/^{123}\text{I}$ magreakció hátránya, hogy a $^{124}\text{Te}/\text{p}, 5\text{n}/^{123}\text{I} \xrightarrow{\text{K}}$ reakcióval ellentétben nem lehet építeni a jódt-hurok alkalmazására, amely az utóbbi esetben a célanyagként alkalmazott CH_2I_2 recirkulációjára épül [4, 5]. Ismeretes, hogy a ^{125}I világpiacon ára akkor esett jelelős mértékben, amikor Chalk Riverben kidolgozták és bevezették a reaktorba épített xenon-hurkon alapuló ^{125}I -gyártását.

A ^{123}I előállítása kapcsán a Na^{123}I mellett elsősorban a jódjelzett hippurán, a ^{67}Ga -tel kapcsolatosan a vese- és májdiagnosztika területén alkalmazható gallium-citrát, az ^{111}In esetében pedig a megfelelő indiumkomplexek diagnosztikai alkalmazása lép előtérbe.

Visszatérve az e csoportba tartozó ^{123}I előállítására, a IV., V., VI. és VII. táblázat bemutatásával kívánom érzékelteni ennek a nuklidnak diagnosztikai előnyeit, de egyben a különféle szennyeződések eredményeképpen megmutatkozó alkalmazási korlátait is. E táblázatokból kitűnik, hogy a ^{123}I alkalmazásából adódó kedvező dózisterhelés előnyei teljesen háttérbe szorulnak, ha a termék tisztasága nem megfelelő [6, 7].

IV. táblázat
Sugárterhelés jódjelzett hippurán intravénás adása esetén

Szerv	^{131}I		^{123}I	
	nGy/Bq	mrd/ μCi	nGy/Bq	mrd/ μCi
Pajzsmirigy	9,5	35	$8,1 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$
Vese	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$
Gonádok	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Egésztest	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$

V. táblázat

Különféle radiojód-szennyezők mennyisége a ^{123}I mennyiségének %-ában a besugárzás befejezése után X órával a $^{124}\text{Te}/\text{p}, 2\text{n}/^{123}\text{I}$ reakció esetében

Nuklid	X = 0 h	X = 24 h	X = 48 h	X = 72 h
^{121}I	3	0,004	-	-
^{124}I	0,8	2,4	6,9	20,5
^{126}I	0,015	0,048	0,16	0,54

VI. táblázat

Különféle radiojód-szennyezők mennyisége a ^{123}I mennyiségének %-ában a besugárzás végén a $^{127}\text{I}/\text{p}, 5\text{n}/\text{K} \rightarrow ^{123}\text{I}$ reakció esetében

Nuklid	%
^{123}I	100
^{124}I	$2,5 \cdot 10^{-5}$
^{125}I	$2,3 \cdot 10^{-1}$
^{126}I	-

VII. táblázat

Pajzsmirigyre leadott teljes dózis 15 MBq/400 $\mu\text{Ci}/^{123}\text{I}$ intravénás adásánál különféle előállítási reakciók és jellegzetes mértékű radionuklidos szennyezés esetén

Magreakció /nuklid/	^{123}I	^{124}I	^{125}I	^{126}I	Teljes dózis
Tiszta ^{123}I	0,056	-	-	-	0,056 Gy
$^{127}\text{I}/\text{p}, 5\text{n}/^{123}\text{I}$	0,056	-	0,048 /2%/	-	0,104 Gy
$^{121}\text{Sb}/\alpha, 2\text{n}/^{123}\text{I}$	0,056	0,676 /13%/	0,024 /1%/	0,088 /0,3%/	0,844 Gy
<hr/>					
1 MBq ^{131}I	-	-	-	-	0,514 Gy
100 MBq $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$	-	-	-	-	0,010 Gy

3. Hosszu felezési idejű izotópok

A hosszú felezési idejű izotópok közül azokra kívánok röviden utalni, amelyek előállítása akkor kerülhet szóba, ha kellő automatizáltság folytán a ciklotron folyamatosan üzemeltethető és a targetek hulladékidőben /éjszaka, hétvégén/ besugározhatók. Az e nuklidok előállítására vonatkozó magreakciókat és a megfelelő hozamokat a VIII. táblázatban közölt összeállítás tartalmazza.

VIII. táblázat

Hosszu felezési idejű izotópok adatai

Magreakció	$T_{1/2}$	Hozam	
		kBq/uA.s	mCi/uA.h
$^{24}\text{Mg}/d, \alpha / ^{22}\text{Na}$	2,6 a	0,03	0,003
$^{58}\text{Ni}/p, 2p / ^{57}\text{Co}$	270 d	0,38	0,035
$^{109}\text{Ag}/p, n / ^{109}\text{Cd}$	1,3 a	0,06	0,005

Az új besugárzási kapacitás megteremtésével szervezési, ill. rendeletmódosítási intézkedések is szükségesek válhatnak. Ismeretes, hogy a 10/1964./V.7./ sz. kormányrendelet értelmében a sugárzó anyagok forgalmazását hazánkban csak az Izotóp Intézet végezheti.

Az előzőekben ismertetett extrém rövid felezési idejű nuklidok esetében a Budapestre való szállítás és szerűtlen, egyben megoldhatatlan. Az ATOMKI és az Izotóp Intézet között évekkal ezelőtt megkötött szocialista szerződés és a még ennél hosszabb multa visszatekintő jó kollégiális kapcsolat lehetővé teszi a szoros együttműködést, de ez a meglévő rendelkezések betartását illetően nem mentesítheti az Izotóp Intézetet.

Két megoldás képzelhető el: vagy a vonatkozó rendelet módosítása és a forgalmazás terén az ATOMKI pótlólagos kijelölése válik szükségessé, vagy pedig az Izotóp Intézet kis létszámú kihelyezett részlegét kell Debrecenben létrehozni.

A közepes és a hosszú felezési idejű nuklidok esetében a forgalmazás kérdése már kevésbé problematikus, akár Debrecenben, akár Budapesten történne a processzálas. Láttuk azonban a ^{123}I példáján, hogy az idő múlásával nem csupán a gazdaságosságot megkérdőjelező aktivitáscsökkenéssel, hanem a hosszabb felezési idejű szennyvezések dusulásával, gyógyászati alkalmazás esetén tehát

a dózisterhelés nem kívánatos növekedésével is számolni kell.

Összefoglalásképpen megállapítható, hogy a ciklotron üzembehelyezésével Debrecen és az egész ország nagyot lép előre a hazai magfizikai módszerek kiszélesítése terén. A beruházás azonban természetesen számos járulékos problémát is felvet, amelyek megoldásához megfontolt koordináció és kooperáció szükséges. Ma már bizonyosnak látszik, hogy a hatvanas évek végén előrejelzett "cyclotron operated by a nurse" koncepció tulzott volt.

Meggyőződésem viszont, hogy az összehangolt együttműködés az e területen dolgozók közös érdeke, egyben elhatározott szándéka is, aminek eredményeképpen a hazai izotóptechnikai spektrum jelentős gazdagodásának nézhetünk elébe.

Irodalom

1. J.C. Clark, P.D. Buckingham, Short-lived radioactive gases for clinical use, /Butterworth, London, 1975 /
2. R. Riviére, C. Crouzel, M.Crouzel, D. Comar, 17e Colloque de Médecine Nucléaire, /Paris, 1975 /
3. R. Subramanyam, W.M. Bucelewicz, B. Hoop, S.C. Joes, Int. J. Appl. Radiat. Isotopes 28 /1977/ 21
4. K.H. Asmuss, F. Schulz, R. Schütz, H. Schweikert, KFK Rep. 2461, Karlsruhe /1977/
5. F. Cauwe, J.P. Deutsch, D. Favarat, P. Prieels, M. Cognéau, Int. J. Appl. Radiat. Isotopes 25 /1974/ 187
6. S.M. Quaim, G. Stöcklin, R. Weinreich, Proc. Panel Discussion on Iodine-123, /Jülich, 1976/
7. Proceedings of the Seventh International Conference on Cyclotrons and their Applications, /Birkhauser Verlag, Basel - Stuttgart, 1975 /

GYORSÍTÓKKAL TERMELT IZOTÓPOK AZ IPARBAN

HEGEDŰS ZOLTÁN, FENYVESI EDE

CSM Fémtani és Technológiai Kutató Intézet, Budapest

Hazánkban az első vállalati izotóptechnikai laboratóriumot 1955-ben hozták létre a Csepel Vas- és Fémművekben. E laboratóriumban szerzett tapasztalatok - miután a CSM-ben a kohászat-, öntészet-, gépészet-, tömegcikk ipar egyaránt megtalálható - többé-kevésbé az egész iparágra vonatkoztathatók.

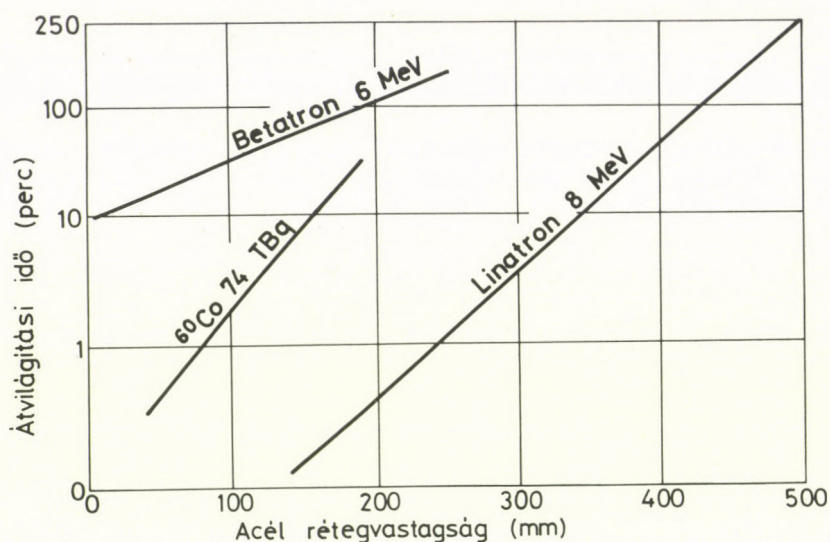
A legnagyobb jelentőségű izotópos vizsgálat a radiológia. 25 év alatt a CSM-ben több mint 470.000 radiográfiai vizsgálat készült. Már 1961-ben elérte az évi 25.000 felvétel számot [1] és napjainkban is évi 15.000 felvétel készül hegesztési varratokról, vas és acélöntvényekről. Ma ^{192}Ir és ^{60}Co izotóppal, hordozható berendezésekkel, helyszíni és laboratóriumi hibavizsgálatok végezhetők és ezek jelentősége tovább növekedik. Kísérleteket végeztek ^{170}Tm , ^{75}Se , ^{152}Eu izotóp alkalmazásával is, de a gyakorlatban nem váltak be [2].

A radiológiai vizsgálatok továbbfejlesztését és főleg a gazdaságosság növelését eredményezte a kombinált ultrahangos radiográfias roncsolásmentes hegesztési varrat-vizsgálat. További előrehaladás a xeroradiográfia elterjedésétől várható, ami lényegesen meg fogja gyorsítani a vizsgálatot és megszünteti a ma még tetemes filmköltségeket.

A radiográfiai vizsgálatok másik fejlődési iránya az 5-10 MeV-os lineáris gyorsítók alkalmazása. A lehetőségekről az 1. ábra nyújt tájékoztatást. 8 MeV-os lineáris gyorsító és 74 TBq ^{60}Co izotópos sugárforrás - az alkalmazhatósági falvastagságon belül - viszonylag rövid megvilágítási idővel működik.

További jelentős haszon származott az izotóp nyomjelzéses vizsgálatok alkalmazásából. A Csepel Művekben 170 gyártástechnológiát ellenőriztek ily módon. Acél-vas formaöntészetben, a hagyományos acéltuskó öntészetben, könnyűfémöntvények esetén sok esetben nyomjelzéses technikával sikerült meghatározni a selejt okát és megfelelő intézkedésekkel kiküszöbölni a hibát.

Öntöttvas és alumínium formaöntészetben nagyon érdekes eredményeket szolgáltatott a nyomjelzéses technika, nagymértékű, bonyolult kiképzésű kokillaöntvények dermedésének vizsgálatakor. A "MAN" dieselmotorok öntöttvas forgattyusházait homokmagos kokillaöntéssel készítik. A nagyon eltérő falvastagságu, erősen



1. ábra. Acélok átvilágítási idejének vastagságfüggése különböző típusú sugárforrások alkalmazásánál.

tagolt 1 m-nél hosszabb és kb. 60 cm magas öntvényben előre nem lehet megbecsülni a dermedési folyamatot. Az öntés végén a beömlőnyílásba bevitt ^{113}Sn izotóp a néhány perces dermedési idő alatt 90 cm távolságra eljutott, és a nyomjelzéses technika felhívta a figyelmet a dermedés közben végbemenő, előre nem várt olvadt fém áramlásra, illetve örvénylésre.

Nélkülözhetetlennek bizonyult a nyomjelzéses technika a korszerű olvasztási és öntési eljárások ellenőrzésére. Így pl. meg lehetett határozni elektronsugaras és elektrosalakos átolvasztás közben a tócsa alakulást és az ahhoz kapcsolódó inhomogenitásokat.

Vízszintes folyamatos öntőművekben egyes sárgarézfajták öntésekor nehézségek léptek fel. A dermedési viszonyok nyomjelzéses tanulmányozása értékes adatokat szolgáltatott a problémák megszüntetésére [4].

Függőleges, védőgázos folyamatos öntőműben előállított nagy-tisztaságú és nagyvezetőképességű réz öntésekor a tócsaalak és mélység nyomjelzéses meghatározása értékes adatokat szolgáltatott a sikeres gyártás szempontjából jelentős hidrogén és oxigén egyensúlyi viszonyok megismerésére [5].

Az izotóptechnika jól hasznosítható a kohászat modern hengerműveiben az érintésmentes vastagságmérés, ill. hengerállás szabályozására. Hazai és csepeli kifejlesztésű berendezések már évek óta működnek a CSM nagyteljesítményű hengerállványain, ill. a hasonló elven alapuló automatikus acélgázpalack falvastagságmérő berendezésben.

Kohászati és részben erőművi, ill. vegyipari alkalmazása van az izotóptechnikával működő szintjelző és automatikus szintszabályozó műszereknek.

A CSM FTKI-ban kifejlesztett szintjelzőberendezéssel mérik a vasolvasztó kupoló kemencék betétszintjét.

A gépgyártás nehéz problémája a különféle alkatrészek, acélfeleségek, különböző hőkezelési állapotainál a kopás meghatáro-

zása. Ez hozzáférhető szerszámélekre, egyszerű alkatrészekre már megoldott, de tartósan surlódó felületek vizsgálatára legalkalmasabb az izotóptechnikai kopásvizsgálat. Ennek számos előnye van: a kopás tényleges működés közben folyamatosan ellenőrizhető, így nemcsak a mértéke, hanem a kinetikája is meghatározható. A CSM-ben végzett izotópos kopásvizsgálatok az új gépészeti megoldásokhoz adnak jelentős segítséget.

Hivatkozások

- [1] *E. Fenyvesi*, Isotopentechnik 2 (1962) 56
- [2] *E. Fenyvesi*, Isotopentechnik 11 (1971)
- [3] *S. Szeiman, K. Mihály and E. Fenyvesi*, Eight Symposium on Autoradiography. 1975. Visegrád 5-9 Maj.
- [4] *J. Modróczy*, X. Kohászati Anyagvizsgáló Napok 1979. Balatonaliga p 222
- [5] *M. Stefán*, Műszaki Tudomány 54 (1977) 358

Gyorsítók /ciklotronok/ termelte izotópok a mezőgazda-
ságban

Bálint Andor

Agrártudományi Egyetem, Gödöllő

A kukorica mutációs kutatásokkal foglalkozó munkámba /Bálint, 1967/ a következő megállapítások kerültek be:

"Smith /1966/ beszámolója nyomán a magasabbrendűeken alkalmazott mutagének körébe /kukoricán végezte vizsgálatait/ bekerült a pi-mezon és a muon is. A kísérleti anyag Yg_2/yg_2 allélekre heterozigóta kukoricatörzs volt. A domináns Yg_2 allél deletiója vagy mutálás következtében a levelek sárgászöldes színűek lesznek. A besugárzott magvakból kapott növények levelein a sárgászöldes szektor nagyságából következtetni lehet a sugárzások hatására. A kezeléseket kontrollja 250 kVp röntgenbesugárzást kapott. Ehhez viszonyítva 28 MeV proton 4,4 a 8 MeV mezon 3,2-szer hatékonyabbnak bizonyult. Ezeknek a nagy energiájú részecskéknél nagyobb hatékonysága annak köszönhető, hogy a besugárzott szövetek atommagjaival erős kölcsönhatásba kerülnek, energiájukat azok ionizációja és gerjesztése révén veszítik el. A muonrészecske az X-sugárhoz hasonló hatása, de a LET /lineáris energiaátvitel/ és az RBE /relatív biológiai effektivitás, hatékonyság/ kisebb /0,76/. A monoenergiás gyors neutron /0,43, 0,65, 1,00, 1,50 és 1,80 MeV/ hatékonysága a röntgenkontrollnak csak 60 százaléka volt.

Tekintve, hogy e sugárforrások alkalmazásához gyorsító berendezések /ciklotronok/ kellene, a közeljövőben szélesebbkörű alkalmazásuk nem látszik valószínűnek. Mindenesetre ez a kísérlet a lehetőségek új területét mutatta be."

A következtetések két megállapítása közül az egyik nem állja meg ma már a helyét. A ciklotronok terjedőben vannak és jelenleg éppen az itt készülő berendezés programjáról tárgyalunk. Mentségemre legyen mondván, hogy előttem az 1958-ban Dubnában látott gyorsítók jelentek meg a mondat megfogalmazásakor. Hasonló kísérleti adatokkal azóta sem találkoztam, egyedül Huczkovszki et al. /1974/ számoltak be olyan mutánsokról, amelyeket ciklotron segítségével kapott gyorsneutron besugárzás idézett elő.

Az új lehetőségekkel is vannak problémáim. Nem sikerült olyan közleményeket sem találnom, amelyek a ciklotronok által termelt izotópok mezőgazdasági alkalmazásáról tudósítanának. Nem maradt más lehetőségem, mint a mezőgazdasági izotópal alkalmazás és a ciklotronról közölt lehetőségek ismeretében vessek fel néhány gondolatot, javasolva a feladat részletes kidolgozását különböző területeken /agrokémia, növényvédelem, állatok élettana, takarmányozása/.

Rövid felezési idejű izotópok felhasználása.

Egyáltalán nincsenek felmérve azok a lehetőségek, amire a rövid felezési idejű izotópok nyújtanak lehetőséget.

Cooper /1974/ az olasz és angol perje optimális N, P, K reakcióját tanulmányozta. Megállapította azt, hogy a nagy- közepes- és kis dózisokra való reagálás egyaránt szilárdan öröklődő tulajdonság. Csiranövény állapotban kiválaszthatók az N-re jól reagáló típusok, de ez áll nyilván a P és K-ra is.

Jelenleg a N-hasznosulást N^{15} stabil izotóp felhasználásával mérjük. Érdekes lenne megvizsgálni annak a lehetőségét, hogy e feladat ^{15}N felhasználásával nem volna-e megoldható, /esetleg élő állapotban/. A szelekció hatékonysága ilyen adatok alapján rendkívüli mértékben megnövekedne.

Háziállatokban az I-123 a jódt anyagcsere vizsgálatára ugyanolyan előnyösen volna alkalmazható, mint ahogyan erről Berényi /1979/ beszámol.

Hosszu életű izotópok

A ciklotronban előállítható hosszú életű izotópok közül a ^{55}Fe alkalmazását látom a legfontosabbnak.

A vas az állati és emberi szervezetben nem nagy mennyiségben van jelen, a vérben lévő hemoglobin és az izomban található mioglobin fontos alkotó eleme.

Tekintve, hogy ez a vonatkozás közös az orvosi alkalmazással, valamivel részletesebben a növényekben betöltött szerepével foglalkozom.

"A vas növényélettani jelentősége elsősorban a klorofill szintézisében nyilvánul meg. Mennyisége a különböző növényekben eltérő. A hamu vastartalma a salátában 3,6, a spenótban 2,4, a csalánban 3,4 %, de van egy növényfaj, sulyom ahol a hamu vastartalma 21,0 %.

Ha hiányzik a tápanyagból, nem képződik klorofill, s a levelek halványak maradnak /klorózis/. A vas hiánya esetén végül is a fotoszintézis kimaradásával szénhidrátéhségben pusztulnak el a növények.

A vasklorózis oka csak a legritkább esetben elsődleges vashiány, mert természetes viszonyok között a talaj mindig tartalmaz elegendő vasat. A legtöbb esetben másodlagos természetű. Például erősen lúgos talajban hidroxid formájában kicsapódik; mészszen gazdag talajokban a kalcium-karbonát hatására a talajoldatokból folytonosan eltávozik. Savanyu talajokban rendszerint a jelenlévő foszfát köti le, vagy más, fölös mennyiségben jelen lévő nehézfém akadályozza a felvételét.

A klorotikus növények ugyanugy tartalmazznak vasat, mint a nem klorotikusak.

Tehát nem a növények abszolút vastartalma, hanem az aktív formában rendelkezésre álló vasmennyiség a fontos, és a klorózis okát a Fe^{++} és Fe^{+++} kationok egyensúlya zavarában látjuk.

A vasklorózis táplálkozás-élettani probléma az egész világon, és gyógyítása az összes hiánybetegségek közül a legnehezebb. A gyümölcsfák és a szőlők, de a mezőgazdasági növények vasklorózisát is kelátok alkalmazásával sikerült meggyógyítani.

A vas a citokróom - citokróomoxidáz-rendszerben mint vasproteid a redoxirendszer szerepét játssza. Ez a légzéssel van kapcsolatban. Legújabbán a vasnak arra a szerepére mutattak rá, amelyet a ferredoxinban tölt be. A ferredoxinban 7 Fe-atom van ún. nem hemszerű kötésben. A szabadon élő N_2 -fixáló szervezetekben, pl. a Clostridiumban, a N_2 fixálóképesség és a hidrogén felszabadulása is a ferredoxinhoz kötött /Szalai, 1974/.

Az almondottakból a ^{55}Fe több alkalmazási lehetősége bontakozik ki. Felvételének üteméből a fotoszintézis intenzitására következtethetünk. Ez napjainkban, amikor a növények fotoszintetikus teljesítőképességének fokozása a kutatások nagyon fontos területe a vizsgálatok modern lehetőségét tárná fel. A vass felvétel és a talajban lévő különböző elemek kölcsönhatásának meghatározására az izotópindikáció nagyon alkalmas. Azt nem tudom megmondani, hogy a módszer használható lenne-e a Fe^{++} és Fe^{+++} kationok egyensúlyzavarainak meghatározására. A fotoszintézis intenzitásának jellemzésén kívül a légzés és N-kötés tanulmányozásában is lehetne szerepe.

Aktivációs analízis

Az aktivációs analízis alkalmazási lehetőségei a mezőgazdaságban is nagyon sokrétűek. Felhasználható a rovarok vándorlásának, a pollen terjedésének a tanulmányozására. A növények mikroelemtartalmának meghatározásához és egyéb analitikai feladatok megoldásához is jól hasznosítható.

A nemesítés igényeit számításba véve egy olyan alkalmazási területre utalnék, ami eddig nem került szóba.

A világon meglevő fehérjeéhség leküzdésére hatékony módszernek látszik a nagy fehérjetartalmu és nagy termőképességű gabonafélék /buza, rizs, kukorica/ előállítása a fajták bőtermőképességének megőrzése mellett. Tekintve a fehérjetartalom alacsony örökölhetőségi értékszámát /pld. a kukoricában 0,24, ami a környezeti tényezők jelentős behatására utal/, az előrehaladás szelekciós uton lassu, mivel az átlagminta nem minden egyede képvisel azonos átörökítőképesseget. Felvetődött az a cukorrépánál már régen alkalmazott lehetőség, hogy roncsolás nélkül állapítsuk meg a szervenek fehérjetartalmát, ahogyan erre az olajvizsgálatoknál az NMR technika lehetőséget ad. Ezt a követelményt az Almási et al. /1979/ által a KFKI-ban kidolgozott módszer kielégíti.

Az eljárás lényege, hogy a szemet termikus neutronnyalábbá helyezzük. A neutronok kölcsönhatnak a szem anyagában levő ^{14}N atommagokkal, és az $^{14}\text{N}/n, \gamma / ^{15}\text{N}$ magreakcióból prompt, nagy energiájú gamma-sugárzás keletkezik. A keletkezett sugárzás intenzitása arányos a nitrogéntartalommal. A szemenkénti adatok birtokában a nyersfehérjetartalom szerinti szelektálás elvégezhető.

A módszer várható hatása: a szelekció hatékonyságának kb. 40 %-al való növelése. Ez azt jelenti, hogy ha egy kukorica vonalban pld. kiemelek az átlagos 10 %-nál 2 %-al több fehérjét tartalmazó csövet, az utódban a fehérjetartalomnak csak kb. 0,48 %-os emelkedésével számolhatunk. Szemenkénti vizsgálat alapján ez az érték kb. 0,68 % lenne.

A módszer rutinszerű alkalmazásának jelenleg az az akadálya, hogy a KFKI reaktora nem alkalmas a szükséges erősségű sugárnyaláb előállítására. Megítélésem szerint ciklotronnal a szükséges neutronfluxus biztosítható lesz.

Összefoglalás

A ciklotron mezőgazdasági hasznosítására két területen nyílik széleskörű lehetőség:

1. Izotópok előállításával az életfolyamatok vizsgálatára növények szelekciójára nyílik lehetőség;
2. Az aktivációs analízis kiterjeszthető olyan feladatok megoldására, amire a jelenlegi hazai atomtechnikai berendezések nem nyújtanak lehetőséget.

Irodalom

- András L. - Bálint A. - Csőke A. - Nagy Á. 1979. Gabonamagvak szemenkénti szelektálása $^{14}\text{N}/\text{n}, \gamma / ^{15}\text{N}$ reakció alapján a fehérjetartalom javítására. Növénytermelés 28:2:115-130.
- Bálint A. 1967. Heterózis és mutáció a kukoricában. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Berényi D. 1979. Mit jelent a tudomány és a gyakorlat igényei szempontjából a debreceni ciklotron. Magyar Tudomány 24:5:332-336.
- Cooper, I.P. 1975. Physiological selection criteria in forage grasses. In: Tracer Techniques for Plant Breeding IAEA, Vienna, 65-71.
- Huczkowski, I.; Gazek E., Wojciechowski, H. 1974. Use of cyclotron as a fast neutron source in plant breeding. In: Biological effects of neutron irradiation. IAEA, Vienna, 49-57.
- Szalai I. 1974. Növényélettan I-II. Tankönyvkiadó, Budapest

EP KENŐANYAGOK ÉS FORGÁCSOLÓ HÜTŐ-KENŐFOLYADÉKOK KOPÁSGÁTLÓ
TULAJDONSAIGAINAK VIZSGÁLATA IZOTÓPOS INDIKÁCIÓS MÓDSZERREL

ZALKA LAJOS - VAMOS ENDRE - JÉCSAI LÁSZLÓNÉ

Nagynyomású Kísérleti Intézet, Százhalombatta

I. Szerszámkopás mérésének módszere

A hűtő-kenőfolyadékok fejlesztésekor, minősítésekor és előkiválasztásakor a szerszámkopás mértékének vizsgálata mindenkor igen fontos.

A szerszámkopás meghatározására sokféle módszert alkalmaznak, amelyek közül meglehetősen elterjedt a térfogatos kopás és a hátkopás mérése. E módszereknek közös vonása, hogy a vizsgálat mindaddig folytatódik, amíg kimutatható a szerszám jelentős mérvű, tényleges kopása. Ezért ezek a módszerek időigényesek. Az irodalom /1-8/ ismeretében kifejlesztettünk egy módszert, amely hasznosítja a radioaktív kopásmérés előnyeit. Szénacél csövet műszerész-esztergapadon speciális, radioaktív esztergakéssel ortogonális forgácsolás alá vetettünk. Az aktivitás jelentős része a ^{187}W volfrám gamma-béta-sugárzó izotóptól származik. A forgácsminta aktivitásának mérésével lehetővé vált a kés kopásának meghatározása. Az aktiválási idő, a fém összetétele, valamint a termikus neutronfluxus megválasztásával kapcsolatos számításokat Okada /4/ adatait felhasználva végeztük. A forgácsoló művelethez az EMU-250 típusu, egyetemes műszerész-esztergapadot használtuk, melynek adatai a következők: a munkadarab maximális átmérője 250 mm, a csucstávolság 600 mm, a fordulatszám-tartomány $n = 52\text{--}2250/\text{min}$, a hosszelőtolás $e = 0,01\text{--}0,52\text{ mm/fordulat}$, és $f = 0,005\text{--}0,26\text{ mm/fordulat}$.

A szerszám gyorsacél esztergakés volt, anyagminősége R 2 /MSZ 4351/, keménysége $\text{HR}_{60} / 63\text{ kp/mm}^2$. A kés geometriája a szabványnak megfelelő volt /9/. A beállítási szögértékek a következők voltak: homlokszalag-szélesség $Sho = 3\text{ mm}$; homlokszalag-szög $s = 2^\circ$; homlokszög $= 16^\circ$ hátszalag-szélesség $Sha = 3\text{ mm}$; hátszalag-szög $s = 2^\circ$; hátszög $= 8^\circ$.

Munkadarabnak $\emptyset 131/127 \times 100\text{ mm}$ méretű, A 35 anyagminőségű /MSZ 500/ ötvözetlen szénacél csövet választottunk. A forgácsolási művelet elrendezése konvencionális volt /9/.

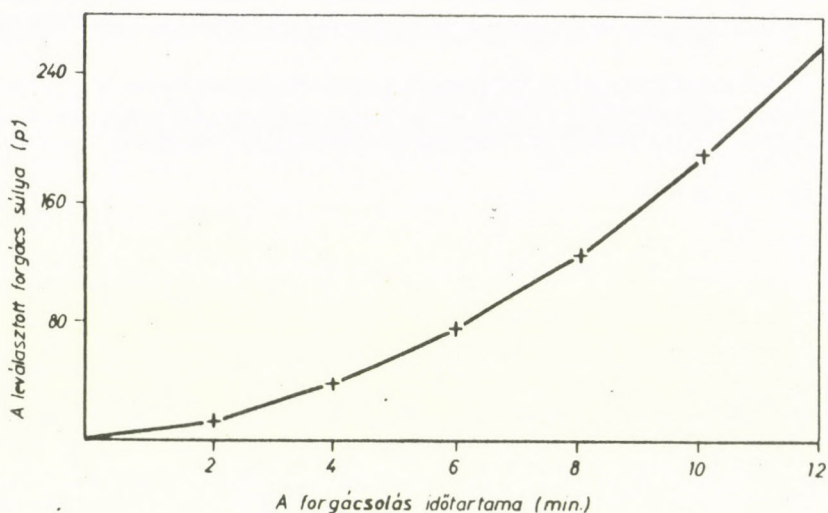
A forgács- és folyadékminták aktivitásának mérésére energiaszelektív számológépet /típus: NK-109, gyártó cég: GAMMA/ használtunk. Az impulzusok indikálására detektorként 15 cm^3 térfogatú szcintillációs kristályt állítottunk be az NZ-123 típusú ólomtoronyba /gyártó cég: GAMMA/.

A vizsgált hűtő-kenőfolyadékok konvencionális termékek voltak. Ezekből olaj-víz emulziókat készítettünk.

A forgácsolást hat különböző előtolási értéken - fordulatonként $0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06\text{ mm-en}$ - végeztük, miközben a munkadarab fordulatszáma n /percenként 100, a forgácsolási sebesség v_f /percenként $40,5\text{ m}$ volt.

A csövet minden előtolási értéken 2 percig, összesen 12 percig esztergáltuk. Minden egyes hűtő-kenőanyaggal három párhuzamos mérést végeztünk, mindenkor új késsel és munkadarabbal. A leválasztott forgács mennyiségének változását az idő függvényében az 1. ábra mutatja.

Az esztergakéseket 1/2 óráig aktiváltuk termikus neutron-fluxusban az MTA Izotóp Intézetben. Az esztergálási művelet során minden előtolási értéken az első és a második perc végén vettük a forgácsmintát, illetve gyűjtöttük az 1-1 perces időtartamok alatt felhasznált folyadék mennyiségét. Az aktivitás méréséhez 2-3 g-nyi forgácsot és 15 cm³-nyi folyadékot használtunk fel. A kés anyagából vett etalon besugárzását



1. ábra

A leválasztott forgács súlyának változása az idő függvényében

követő aktivitásmérés adatainak ismeretében, valamint a forgácsminta aktivitásának mérésével a szerszámkopás mennyiségi viszonyai meghatározhatók.

II. Szerszámkopás mérési eredményei

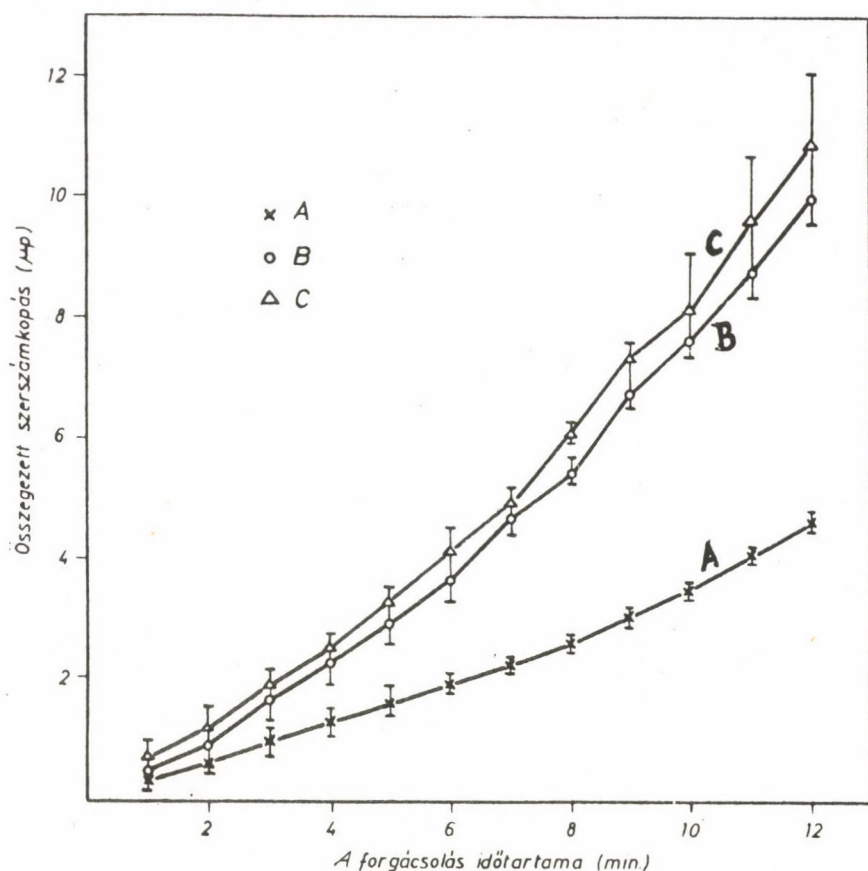
Az irodalom szerint [5] a késről lekopott fémrészek tulnyomó többsége a forgácsra kerül. Ezzel egyező értelmű mérési eredményeket kaptunk mi is, ezért a mérési eljárás egyszerűsítésére a szerszámkopás számításakor csak a forgácsminták aktivitási értékeit vettük figyelembe.

Azt tapasztaltuk, hogy a szerszámkopás a három párhuzamos mérés alapján és az idő függvényében közel sem egyenletes. Ez a jelenség az előtolás mértékének növekedésén kívül a forgácsolás sajátosságával /mindig új fémfelületek érintkeznek egymással/, valamint a szerszám és a munkadarab minőségének a gyártómu által garantált maximális türéssel magyarázható. A párhuzamos mérések átlagát képezve és a szerszám használhatóságára /éltartam/ jellemző összegezett kopási értékeket kiszámítva az egyes hűtő-kenőanyagokat jól elkülönítő értékeket kaptunk [2. ábra]. A görbék jellege hatványfüggvényre enged következtetni, ezért a jobb kezelhetőség és összehasonlíthatóság céljából a $\lg y = \lg x$ transzformációt alkalmaztuk, ahol: a a regressziós állandó, b a regressziós koefficiens. [1. 3. ábra]

A transzformációt követően a függő változó értékeit regressziós egyenessel ábrázolhatjuk. A lineáris kapcsolat erősségét a függő és független változó között a korrelációs tényező kiszámításával ellenőriztük, melynek értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

Jól látható, hogy a lineáris kapcsolat igen erős $|r| > 0,9$, ami igazolja a transzformáció helyességét [10].

A vizsgálatok alapján látható, hogy a szerszámkopás abszolút értékei alapján felállítható a hűtő-kenő emulziók minőségi sorrendje. Az egyenesek meredeksége azt mutatja, hogy a B és C emulzió közötti sorrend egy bizonyos



forgácsolási idő után megváltozhat, ez azonban kívül esik a mérési tartományon. Az A jelű emulzió egyértelműen jobb eredményt adott, mint a B és C jelű emulzió.

2. ábra

Az összegezt szerszámkopás az idő függvényében

A regresszióanalízis eredménye

1. táblázat

HKE	r	Hatványfüggvény
A	0,9968	$y=0,3378 \cdot x^{1,0098}$
B	0,9963	$y=0,4263 \cdot x^{1,2435}$
C	0,9918	$y=0,6051 \cdot x^{1,1138}$

r = Korrelációs koefficiens

III. Felületi folyamatok vizsgálata

Korábban szerzett tapasztalataink [11, 12, 13] alapján P-tartalmu EP adalékokat négygolyós gépen vizsgáltunk, és a felületbe beépült P-mennyiséget radioaktív indikációs módszerrel határoztuk meg.

A kísérletek folyamán a következő eszközöket és anyagokat alkalmaztuk: Shell négygolyós surlódás- és kopásvizsgáló berendezés és 10-szeres nagyító a kopás mérésére, Gamma gyártmányu, NK-350 típusu integrált áramkörös, egysáternás spektrométer, ND-131 típusu, 65 mm átmérőjű műanyag foszfor-

szcintillációs detektor, NZ-123 típusu - célszerűen átalakított - árnyékoló.

A vizsgált adalék trikrezil-foszfát /TKF/ volt, 5 tf% arányban, szabványos OK-25 olajban feloldva.

A TKF-adalék neutronaktiválását a BME Tanreaktorában végeztük; az OK-25 olajba kevert TKF összes aktivitása $90 \mu\text{Ci}$ volt.

A mérési eszközök dekontaminálásához /14/ zsiralkohol-szulfonátot, etilalkoholt és acetont használtunk.

A radioaktív TKF-adalékkal, a Shell-négygolyós gépen, 20, 40, 60, 80, 100 és 120 kp terhelésekkel 1 perces vizsgálatokat végeztünk /minden terheléssel három párhuzamos mérést/.

A radioaktív TKF-os kenőolajat injekciós fecskendővel adagoltuk. A koptatott golyókat dekontamináltuk, a mosó- és oldószeres kezelést addig ismételtük, amíg a golyók aktivitása már nem változott.

A koptatott három alsó golyó radioaktivitását 100 másodperces mérésekkel /7-10 párhuzamos mérés/ határoztuk meg. Az aktivitás mérésekor kollimátorként, három 3,4 mm átmérőjű furatu réz tárcsát alkalmaztunk, amely lehetővé tette, hogy csak a kopásnyom felől érkező béta részecskék jussanak a detektorba.

A kvantitatív értékeléshez, a radioaktivitás-mérés geometriai és méréstechnikai követelményeit /15/ figyelembe véve, etalonokat készítettünk. A célszerűen kiválasztott acélgolyók azonos átmérőjű, inaktív kopásnyomába ismert szulymennyiségű sugárzó anyagot tettünk. A sugárzó anyagot latex-szal rögzítettük, amely megszilárdulása után vékony hárttyát képez és hézagmentesen zárja le a radioaktív etalont. A készített etalonok aktivitásának nagyságrendje 100 másodpercenként 10^2 , 10^3 és 10^4 beütésszámu volt.

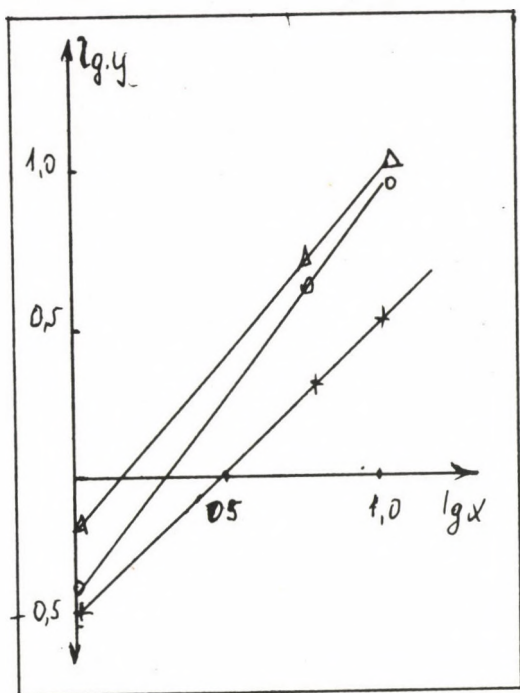
A koptatott és az etalon golyók aktivitásának és az etalon foszfortartalmának ismeretében kiszámítottuk a kopásnyomba beépülő foszfor mennyiségét.

IV. P-szorpció mérési eredményei

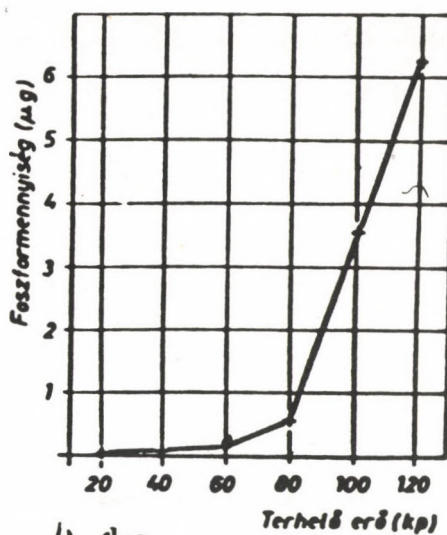
A kopásnyom felületén mért aktivitásból számított foszfor mennyisége $0,012 \mu\text{g}$ /20 kp terheléssel/ és $6,3 \mu\text{g}$ /120 kp terheléssel/ között változott. A kopásnyom felületébe beépülő foszfor mennyiségének változása 60 kp terhelésig kis mértékű; 80 kp terheléssel erőteljesen megnő /4. ábra/.

A szorbeált foszfor mennyiségének változását a terhelés-kopás görbe /5. ábra/ alakjával összevetve megállapítható, hogy a jellegzetes töréspontok mindkét görbén megtalálhatók. A foszfor mennyiségének nagyobb mértékű emelkedése /4. ábra, 60 kp terhelés/ megelőzi a berágódás /intenzív kopás/ kezdetét /5. ábra, 80 kp terhelés/, ennek megfelelően 80 kp terhelésen a foszfor fajlagos mennyisége megnő /6. ábra/.

Feltételezve, hogy a kopásnyom felületén megkötött foszfor mennyisége egyenletesen, rétegekben helyezkedik el, és figyelembe véve az öt vegyértékű foszfor ionsugarát $0,35 \text{ \AA}$ /6/, kiszámítottuk a kopásnyom felületén kialakult rétegek számát. Tekintettel arra, hogy a foszfor behatolása a felületbe diffúz jelenség, a kiszámított rétegvastagságok minimális ekvivalens rétegvastagságoknak tekinthetők /2. táblázat/.

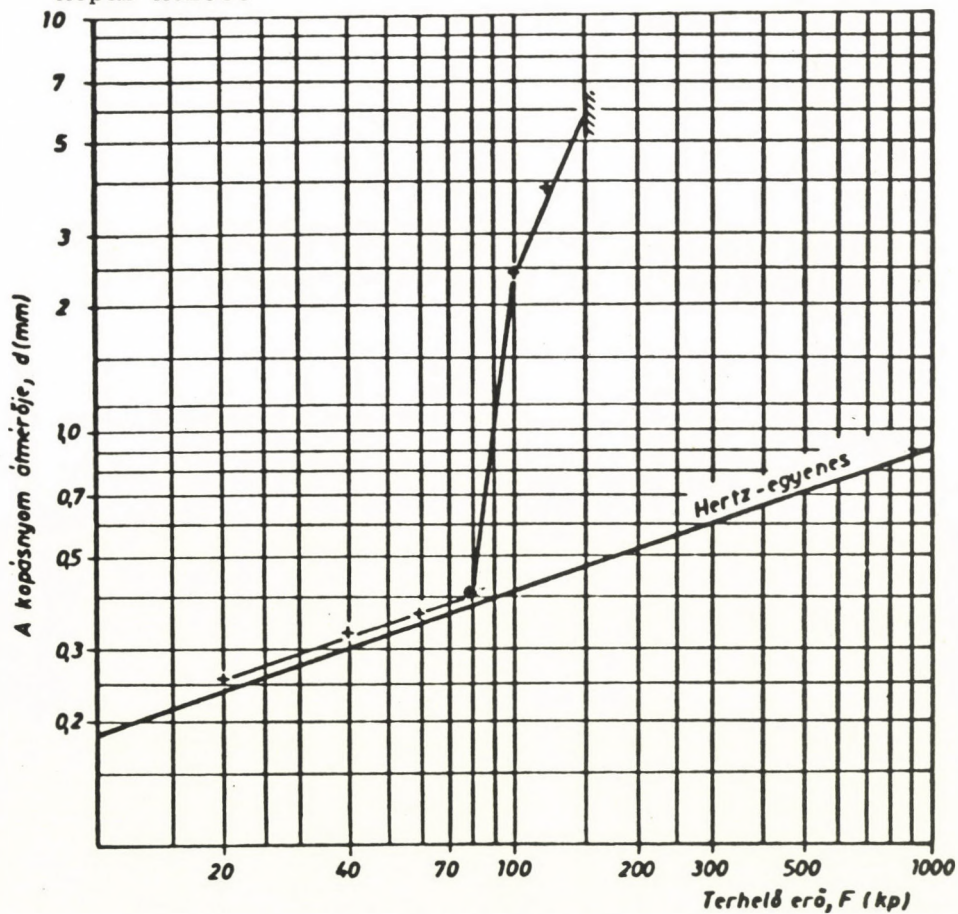


3. ábra Regressziós összefüggés a forgácsolási idő és kopás között



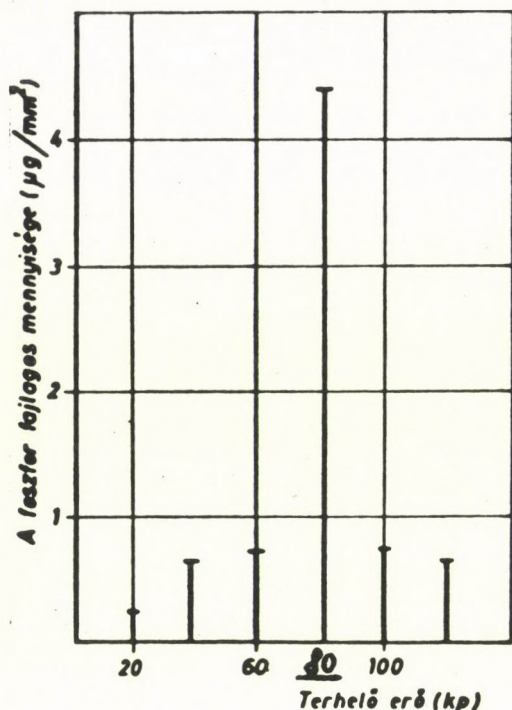
4. ábra

A foszfor mennyiségének változása a terhelés függvényében



5. ábra

Terhelés-kopás görbe



6. ábra

A foszfor fajlagos mennyiségének változása a terhelés függvényében

A kopásnyom felületén megkötött foszfor minimális ekvivalens rétegvastagsága

Terhelés /kp/	A rétegek száma
20	16
40	47
60	51
80	318
100	54
120	49

Összefoglalóan: a radioaktív indikációs módszer alkalmas hűtő-kenőfolyadékok kopásgátló hatásának vizsgálatára és ezen anyagok minősítésére, másrészt négygolyós vizsgálati módszerrel /radioaktív indikációval kombinálva/ megállapítottuk, hogy a foszfor a kopási folyamat során az olajból részlegesen átlép a kopásnak kitett felületre és azon polimolekuláris szorpciós réteget /feltehetően kemiszorpciós réteget/ alkot.

Irodalom

- /1/ Zajcev. I.F. - Ragovcev, U.P. - Doronin, V.M.: Metallovedenie i Termiceszkaja Obrabotka Metallov 25, No 2, 7-9 /1973/
- /2/ Hill, R.F. - Skunda, M.: Mechanical Engineering 94, No. 2, 22-27 /1972/
- /3/ Krabacher, E.J. - Merchant, M.E.: Journal of Applied Physics 22, 1507-1508 /1951/
- /4/ Okada, M.: Journal of Radioanalytical Chemistry 12, 552-562 /1972
- /5/ Hake, O.: Industrie-Anzeiger 80, No. 27, 15-24 /1958
- /6/ Lengyel T. - Jász A.: Izotóplaboratóriumi zsebkönyv Műszaki Könyvkiadó, 1966. 449-458 p.
- /7/ Vámos E. - Valasek I. - Balázs T. Jécsai L.-né: Előadás a 14. Nemzetközi Kenéstechnikai Szimpóziumon Lipcse, 1974. augusztus
- /8/ III. Szerszám- és Szerszámanyag Konferencia /Miskolc/ előadásai MTESZ Gépipari Tudományos Egyesület, 1975. 5-9 p.
- /9/ Valasek I. - Balázs T. Jécsai L.-né - Vámos E.: "25. éves a NAKI" c. kiadv. I. 209-217 /1976/
- /10/ Sváb J.: Biometriai módszerek a kutatásban Mezőgazdasági Kiadó, Bp. 1973. 263-268 p.
- /11/ Vámos E. - Adonyi Z. - Kőrösi G. - Valasek I.: Periodica Polytechnica, Chemical Engineering 19, 91-101 /1975/

- /12/ Vámos E. - Balázs T. - Valasek I. - Gyöngyössi L.: "25 éves a Nagy-nyomású Kisérleti Intézet" I. kötet. NIMDOK, Bp., 1976. 171 p.
- /13/ Vámos E. - Balázs T. - Valasek I. - Jécsai L.-né: Előadás az MKE Ipari Kenéstechnikai Szakbizottság ülésén Bp., 1974. május
- /14/ Nagy J.: Radioaktív dekontaminálás módszerei. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Bp. 1960. 57. p.
- /15/ Imre L.: Radioaktív nyomjelzős módszerek elvi alapjai. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Bp. 1960. 74 p.

A DEBRECENBEN LÉTESÜLŐ CIKLOTRON LABORATÓRIUM

VALEK ALADÁR

MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen

Az utóbbi másfél évtized során - mint azt az előzőekben elhangzott előadásokból is láthattuk - a különböző gyorsítóberendezések, de különösen a ciklotronok és a nagyteljesítményű elektrongyorsítók egyre szélesebb körben kerültek alkalmazásra gyakorlati problémák megoldásakor, sőt iparszerű felhasználásuk is megkezdődött (pl. izotóptermelés, elektron-be-sugárzásos technológiák). A gyorsítók ilyen jellegű felhasználása az előrejelzések szerint tovább szélesedik az elkövetkező években.

Az Intézet - a ciklotronok jelentőségét felismerve - csaknem egy évtizede szorgalmazza, egy ciklotron laboratórium létrehozását és ennek megvalósítása - mint ismeretes - a múlt évben elkezdődött. Az előadásban a ciklotron laboratóriumra vonatkozó terveket, a beruházás tervezett ütemezését és néhány jellemző adatát valamint a gyorsító berendezés fontosabb paramétereit fogjuk ismertetni.

A laboratóriumban szovjet gyártmányu, középmeretű, U-103 típusu kompakt izokrón ciklotron kerül elhelyezésre. A ciklotron legjellemzőbb paraméterei - az elérhető részecskeenergiák - az 1. táblázatban láthatóak. A táblázatban - összehasonlítás, ill. tájékoztatás végett - megadtuk a környező szocialista országokban üzemelő ciklotronok hasonló adatait is. U-120 típusu fix energiájú hagyományos ciklotronok az 1950-es évek végétől üzemelnek NDK-ban és Romániában, ill. üzemeltek Csehszlovákiában és Lengyelországban. Csehszlovákia ezt a típust dubnai együttműködésben modernizálta és az izokrón U-120M ciklotron üzembehelyezése folyamatban van. Lengyelországban a krakkói intézet most kezdett hozzá egy hasonló jellegű modernizáláshoz. Megjegyezném még, hogy Varsóban megkezdődtek egy nagyobb méretű - elsősorban nehezebb ionok gyorsítására szolgáló - ciklotron létrehozását célzó beruházás építési munkái is.

1. Táblázat Az U-103 izokrón ciklotron és a szocia-
lista országokban üzemelő ciklotronok
nyaláberergia adatai

Gyorsított részecske	U-103	U-120 M	U-120
	Energia (MeV)		
p	2÷20	13÷40	~ 7
d	1÷10	9÷20	~13
$^3\text{He}^{++}$	4÷26	17÷50	(~31)
$^4\text{He}^{++}$	2÷20	17÷40	~26

Az U-103 izokrón ciklotron néhány fontosabb adata a 2. táblázatban látható. A ciklotront a leningrádi JEFREMOV Elektrofizikai Berendezések Tudományos Kutató Intézete gyártja. A táblázatban a gyártó cég által garantált nyalábadatokat tüntettük fel; ezen adatok - az eddigi tapasztalat alapján - általában kedvezőbbek az üzembehelyezett berendezésnél (pl. a turkui svéd egyetemen üzemelő ciklotronnál a külső nyalábon elérhető max. energia $^3\text{He}^{++}$ -ra 28 MeV). A külső nyaláb intenzitását protonok és deuteronok esetén a nyaláb kivonó rendszer terhelhetősége (max. 1,5 kW 40-60 %-os kivonási hatásfok mellett) korlátozza. A táblázatban feltüntetett 50 μA 18 MeV-os energiájú protonokra vonatkozik; alacsonyabb részecske energiáknál nagyobb nyalábbintenzitás is elérhető.

A ciklotronnal felgyorsított részecskék bizonyos feladatokra felhasználhatók magában a ciklotronban is (pl. besugárzás belső nyalábon), de a felhasználás számára a külső nyaláb általában kedvezőbb és biztonságosabb feltételeket nyújt. A ciklotronból kihozott nyaláb vezetésére a ciklotronhoz csatlakozó nyalábvezető (nyalábtranszport) rendszer szolgál, mely nyalábvezető (vákuum) csatornákból és különböző nyalábkezelő és nyalábvizsgáló elemekből (mágneses eltérítő és fókuszáló elemek, nyalábbintenzitás-mérő egységek, stb.) épül fel. A nyalábtranszport rendszerbe beépítésre kerül egy ún. energia-analizáló elektromágnes is, melynek segítségével $\Delta E/E = 10^{-3}$ energiaszórással rendelkező részecskenyaláb állítható elő; természetesen alacsony max. 1 μA -es analizált-nyalábbintenzitás mellett. A nyalábtranszport rendszert szintén a ciklotront gyártó leningrádi intézet készíti el. A kiépítésre tervezett rendszer 5 különböző felhasználási helyiségbe juttatja el a felgyorsított részecskéket. A felhasználók rendelkezésére álló lehetőségek a 3. táblázatban láthatók. A táblázattal kapcsolatban megjegyezzük, hogy egy nyalábcsatorna általában különböző vizsgálatok céljára is felhasználható, továbbá a nyalábcsatornák száma a későbbi igényeknek megfelelően növelhető.

2. Táblázat Az U-103 izokrón ciklotron fontosabb adatai

Nyaláb	Energia-változtatás tartománya (MeV)	külső nyaláb	belső nyaláb
	p	5÷18	2÷20
	d	3÷10	1÷10
	$^3\text{He}^{++}$	8÷24	4÷26
	$^4\text{He}^{++}$	6÷20	2÷20
	Nyalábintenzitás (μA)	külső nyaláb	belső nyaláb
	p	50	200
	d	50	300
	$^3\text{He}^{++}, ^4\text{He}^{++}$	25	50
	Energiaszórás (%)	≤ 1	
Elektromágnes	Emittancia (mm.mrad)		
	- függőleges	$\leq 17 \cdot \pi$	
	- vízszintes	$\leq 50 \cdot \pi$	
	Pólusátmérő (cm)	103	
	Max. pályasugár (cm)	45	
	$H_{\text{ált}}$ a max.sug.-nál (kOe)	14	
	Szektorok száma	3	
RF rendszer	Légrés mérete (cm)	12/7,2	
	Teljesítmény (kW)	35	
	Tömeg (t)	24	
	Duánsok száma	2	
	Duáns nyílás (cm)	2	
	Frekvencia (MHz)	8,8÷26,4	
	Max. duánsfeszültség (kV)	35	
	Teljesítmény (kW)	80	

3. Táblázat A külső nyaláb felhasználási lehetőségei

Helyiség típusa	Alap- terü- let (m ²)	Nyaláb csat. (db)	Felhasználás	
Nagyintenzitású (teljes ciklotron nyaláb)	I.	120	4	besugárzás izotóptermelés aktivációs analízis neutronfizika
	II.	50	1	neutron-besugárzás
	III.	80	1	izotóptermelés*
Alacsony háttérű (mérsékelt nya- lábintenzitás)	44	2	magfizika atomfizika analitika (neutronfizika)	
Kisintenzitású (analizált nyaláb)	130	3	magfizika atomfizika analitika	

*pincében függőleges nyalábon

A ciklotron-laboratórium - beruházási program készítésekor tervezett - földszinti alaprajza az 1. ábrán látható. A létesítendő épület csatlakozik az Intézet meglévő VdG épületéhez; annak egy sugárvédő falakkal rendelkező helyisége (ábrán "neutron target") alacsonyháttérű helyiségként kerül felhasználásra. A ciklotron és a nyalábtranszport rendszer 410 m²-es sugárvédő betonfalakkal körülvett területen kerül elhelyezésre (a sugárvédő falak vastagságának számolása még folyamatban van). A sugárvédő falak egy része "mobilis" kivitelben készül; így lehetőség van a belső terület átépítésére, ill. bővítésére (≈95 m²). A gyorsítóberendezés elhelyezésére szolgáló helyiségek körül a következő helyiségek, ill. helyiségcsoportok állnak majd a felhasználók rendelkezésére:

- számoló és mérőközpont
- mechanikai és vákuumtechnikai labor
- komplett izotóplaboratórium
- orvosi jellegű felhasználásra is alkalmas helyiségcsoport.

Egyes - meghatározott célu felhasználásra szolgáló - nyalábcsatornák az izotóplaboratóriumból, az orvosi jellegű helyiségcsoportból, ill. az alacsonyháttérű mérőhelyiséghez csatlakozó laborból (ábrán "neutron vezérlő" a jelenlegi funkciójának

megfelelően) is megközelíthetőek. A közlekedés rendje és a munkarend természetesen a vonatkozó sugárvédelmi előírásoknak megfelelően kerül megszervezésre. Megjegyezzük még, hogy igény esetén lehetőség van egy izotópszeparátor elhelyezésére is, ill. izotópszeparátor közvetlenül a ciklotron nyalábjához is csatlakoztatható.

A gyorsítóberendezést hétfő reggeltől péntek estig folyamatosan kívánjuk üzemeltetni; éves üzemidő kb. 4000 óra. A ciklotronnál folyó kutatási és egyéb tevékenységeket úgy tervezük, hogy az összkapacitás egyharmad része alapkutatásra, egyharmad része alkalmazott kutatásokra és egyharmad része kifejezetten gyakorlati alkalmazásokra kerüljön felhasználásra.

A következőkben a jóváhagyott beruházási program néhány jellemző adatát ismertetjük. A létesítmény bruttó összalapterülete mintegy 5600 m²; a számított villamosenergia igény 640 kW. A beruházás költségelőirányzata - 1979. évi árszinten - 203 MF. A beruházási keretet a Magyar Tudományos Akadémia és keretátadással az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság (35 MF) és az Országos Atomenergia Bizottság (15 MF) biztosítja. A ciklotron-beszerzéshez - a beruházási kereten túlmenően - a bécsi Nemzetközi Atomenergia Ügynökség is hozzájárult egy 900 eRbl-es összeggel. Megjegyezzük, hogy a rendelkezésre álló beruházási keretből az izotóplaboratórium minden igényt kielégítő teljes felműszerezése nem oldható meg; így a laboratórium kezdetben egy csökkentett célprogrammal kezdi meg működését.

A beruházási programot, ill. a beruházás kiviteli tervdokumentációját a Keletmagyarországi Tervező Vállalat (korábban DTV) készítette, ill. készíti el; a sugárvédelmi vonatkozású tervezést az MTA Izotóp Intézete Radiológiai Tervező Osztálya végzi, altervezőként. A beruházás kivitelezője a Hajdu-megyei Állami Építőipari Vállalat. A tervezési és kivitelezési kapacitás lekötése megtörtént. A ciklotron behozatalát az MTA Kutatási Ellátási Szolgálat (Akadimport) bonyolítja le.

Végezetül a beruházás ütemezését szeretnénk ismertetni:

- 1978. Ciklotron szállítására vonatkozó tárgyalások megkezdése. Tudáspolitikai Bizottság a 30.008/1978. sz. határozatában jóváhagyta az MTA, OMFB és OAB közös előterjesztésében benyújtott beruházási javaslatot. Beruházási program előkészítése.
 - 1979. Beruházási program elkészítése. Beruházási program jóváhagyása az MTA főtitkára részéről. Ciklotron szállítási szerződés megkötése.
 - 1980. Kiviteli tervdokumentáció elkészítése.
 - 1981. Kiviteli tervek jóváhagyatása. Kivitelezési munkák előkészítése.
 - 1982. Kivitelezési munkák megkezdése.
 - 1983. Kivitelezési munkák.
 - 1984. Kivitelezési munkák. Ciklotron és nyalábtranszport rendszer leszállítása és a szerelési munkák megkezdése.
 - 1985. Kivitelezési és szerelési munkák befejezése.
- A beruházás befejezésének határideje: 1985. június 30. A beruházási tevékenységgel párhuzamosan folyik a felkészülés a gyorsító tudományos és egyéb célú felhasználására.

AZ U-103 CIKLOTRON IPARI-MEZŐGAZDASÁGI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK ÁTTEKINTÉSE

MAHUNKA IMRE

MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen

A jelenlegi tudományos ülés sok résztvevője számára feltehetően ismert, hogy a debreceni Atommagkutató Intézetben már több mint egy évtizede foglalkozunk a ciklotron telepítés gondolatával, és ennek megfelelően témafigyelést végeztünk a részünkre egyéb feltételek miatt számbajöhető kisméretű ciklotronok felhasználásával kapcsolatban. A témafigyelés eredményeként megállapítható volt, hogy a ciklotronokat ma már nemcsak a magfizika problémáinak megoldására használják, hanem szerepük és jelentőségük egyre nő a multidiszciplináris témákban, úgy a kutatási célú, mint a tisztán gyakorlati feladatok megoldásában [1], [2], [3]. Figyelembe véve ezen felhasználási igényeket, anyagi lehetőségeinket, és azt a tényt, hogy ez Magyarország első ciklotronja lesz, célszerűnek tűnt olyan ciklotron laboratórium kialakítása, amely a magfizikai alap kutatásokon kívül lehetőséget ad sokféle, különböző összetételű multidiszciplináris igény kielégítésére is, a perspektivikusnak ítélt témakörökben. A különböző célú vizsgálatok témakörök szerinti csoportosításának és időben elvégzett rangsorolásának az az előnye, hogy így a kiválasztott témakörökben a vizsgálatok tárgyi feltételek jelentkező igények egy részét - pl. hely, nyalábminőség, kapcsolódó létesítmények - már a tervezés, a ciklotron laboratórium szerkezetének kialakításánál figyelembe lehet venni. A rangsorolást irodalmi áttekintés, külföldi ciklotron laboratóriumok munkatársaival és hazai szakemberekkel való konzultációk, valamint a hazai igények felmérése alapján végeztük. Az elmondottak szerint perspektivikus témaköröknek ítéltük az U-103 ciklotron besugárzásos és analitikai alkalmazását, valamint az izotóptermelést.

Ezek a témakörök a jelenlegi tudományos tanácskozás fő témáival esnek egybe, amelyeket eddig a gyorsítóknak egy széles bázisán vizsgáltunk.

Előadásom további részében ezt a bázist az U-103 ciklotronra szeretném leszűkíteni, és irodalmi példák alapján bemutatni ezen ciklotronnak ipari és mezőgazdasági alkalmazhatóságát. Az elhangzott előadásokban volt már szó ciklotron, sőt konkrétan az U-103 alkalmazhatóságáról is, de a tárgyalás olyan jel-

legű volt, hogy adva van egy probléma, hogyan lehet azt megoldani. Most fordítva tegyük fel a kérdést: adva van egy ciklotron, milyen problémákat lehet vele megoldani a vizsgált témakörökben?

A gyorsítók **besugárzásos** alkalmazásának témakörében a ciklotronokat felhasználhatjuk elsődleges vagy másodlagos sugárforrásként. Elsődleges sugárforrásként való alkalmazásnál közvetlenül a gyorsított ionnyalábokat használjuk. Ilyen típusu alkalmazásokra jelentős felhasználási igény van ipari vonatkozásban az erős radioaktív sugárzásokat jól tűrő szerkezeti anyagok előállításának kidolgozásánál. Az ionnyalábok által okozott sugárkárosodás vizsgálata elősegíti a károsodási alapjelenségek jobb megértését és elősegíti a kielégítő tulajdonságu szerkezeti anyagok, ötvözetek előállítását.

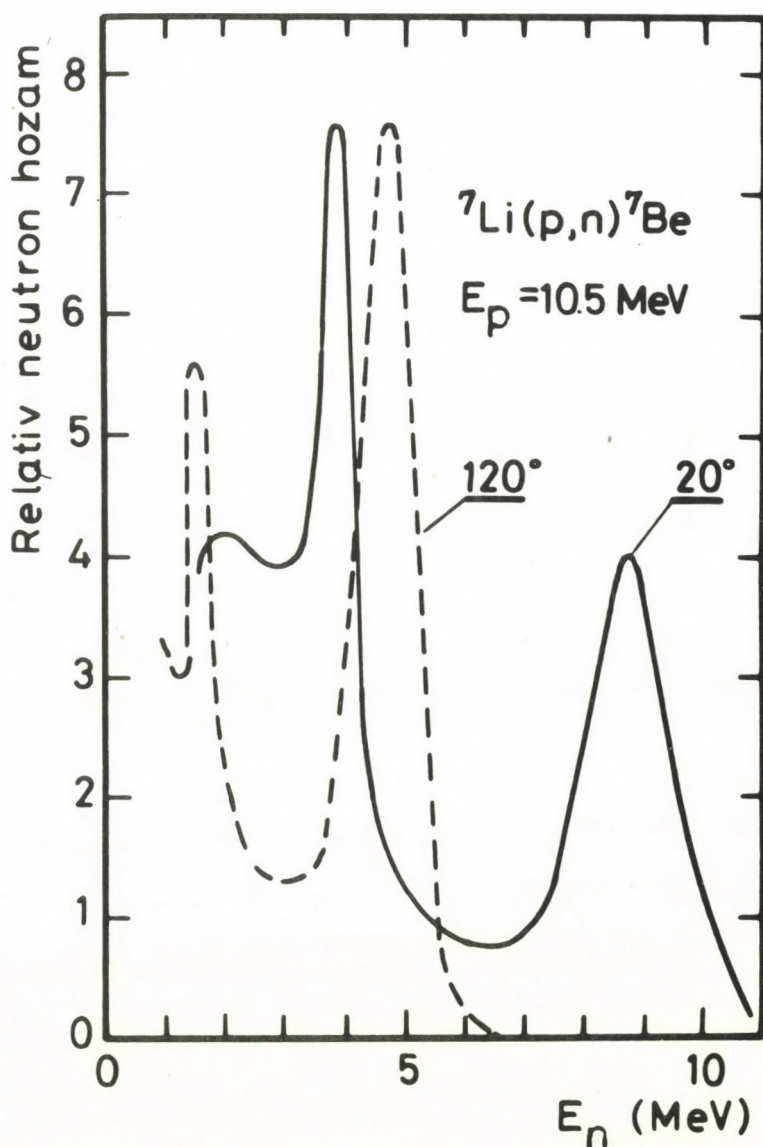
Jelentős és elterjedt alkalmazási téma a kopásnak kitett szerkezeti anyagok ionnyalábokkal történő felaktiválása. Az aktivitásnak a kopás következtében történő csökkenése alapján a kopás nagy pontossággal mérhető. Ezt a módszert elsősorban vas alapanyagú alkatrészek kopásvizsgálatánál használják, ahol az aktív anyag a $^{56}\text{Fe}(p,n)^{56}\text{Co}$ magreakcióban áll elő. Konkrét példaként említhető itt vasuti sinek [4], fogaskerekek [5] és ágyucsövek [6], vizsgálata. Az U-103 proton-nyalábjával $\sim 600\ \mu\text{m}$ mélységig végezhetünk aktiválást és $\pm 0,1\ \mu\text{m}$ pontosságu mérés-eredményeket kaphatunk.

A ciklotronokat másodlagos sugárforrásként elsősorban neutronok termelésére használják a könnyű elemeken kiváltott nagy neutronhozamu magreakciókon keresztül. Az 1. táblázat kanadai szerzők [7] munkája alapján szemlélteti a ^9Be és ^7Li vastag céltárgyakon különböző energiájú deutériumokkal és protonokkal kiváltott magreakciókban keletkező neutronok átlagenergiáit és

1. táblázat. Neutronhozamok ($E_n > 0.3\ \text{MeV}$) és átlagenergiák vastag céltárgyak alkalmazása esetén [7]

Reakció	E_{bomb} (MeV)	$E_n(0^\circ)$ (MeV)	$I_n(0^\circ)$ ($10^{16}\text{n/sr}\cdot\text{s}\cdot\text{A}$)	$\int I_n d\Omega$ ($10^{16}\text{n/s}\cdot\text{A}$)
$^9\text{Be}(d,n)$	8,0	3,7	0,6	1,5
	14,8	5,1	3,8	8,6
	18,0	5,8	6,3	12,3
	23,0	7,5	11,8	19,6
$^7\text{Li}(d,n)$	8,0	3,7	0,4	1,0
	14,8	5,1	3,1	7,7
	18,0	6,1	4,9	12,1
	23,0	7,9	10,3	19,5
$^9\text{Be}(p,n)$	14,8	3,0	1,3	6,8
	18,0	3,4	1,9	10,2
	23,0	4,9	3,0	16,6
$^7\text{Li}(p,n)$	14,8	3,7	0,5	5,1
	18,0	4,4	0,9	8,1
	23,0	6,4	1,5	10,3

hozamait. Az U-103 nyalábadatai, valamint a neutron átlagenergiák és a forráserősségek nagysága szerint a ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reakció tűnik a legkedvezőbbnek. Az 1. ábrán ezen magreakcióban keletkező neutronok energiaspektruma látható vékony céltárgy alkalmazása esetén, 10,5 MeV bombázó energiánál 20°-os előre, illetve 120°-os hátra irányban [8]. A spektrumból látható, hogy vékony céltárgy esetén előre irányban a neutronok egy jelentős része megközelíti a bombázó részecskék energiáját, azaz aránylag nagy energiájú neutronokat is kaphatunk.



1. ábra. ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ magreakcióban keletkező neutronok energiaspektruma vékony céltárgy alkalmazása esetén.

Az U-103 ciklotronnal termelhető neutronok felhasználhatók orvosi vonatkozásban a rák-kutatásban és terápiában, ipari vonatkozásban elsősorban analitikai problémák megoldására, a mezőgazdaságban pedig mutációs nemesítési célokra.

A nukleáris analitika témakörében a ciklotronokat mind a

"késleltetett", mind a "prompt" analitikai módszerekben felhasználhatjuk. Késleltetett aktivációs analízis esetén a ciklotronok primer vagy szekunder nyalábjaival létrehozott radioaktív atommagok sugárzását mérjük, és azok intenzitása alapján következtetünk a céltárgyban jelenlévő elemek koncentrációira. A "prompt" módszereknél a mag, illetve atomi kölcsönhatásokban közvetlenül keletkező ionokat, gamma-sugarakat vagy röntgen-sugarakat szokás mérni.

A ciklotronra alapozott minden analitikai módszer lényegében roncsolásmentesnek tekinthető és egyidejűleg sok elem koncentrációjának a meghatározására alkalmas. Az elmondottakból következően a felhasználás célját tekintve tehát e módszerek alkalmasak úgy standardok, mind ismeretlen összetételű anyagok vizsgálatára szervetlen, de szerves minták esetében is. Az ismeretlen összetételű anyagok vizsgálatánál szerepük különösen jelentős az energiahordozók és gazdaságos felhasználásuk kutatásában, a nyersanyag, ill. érc kutatásban, kohászati eljárások kidolgozásában, nagy tisztaságú fémek és félvezetők előállításában.

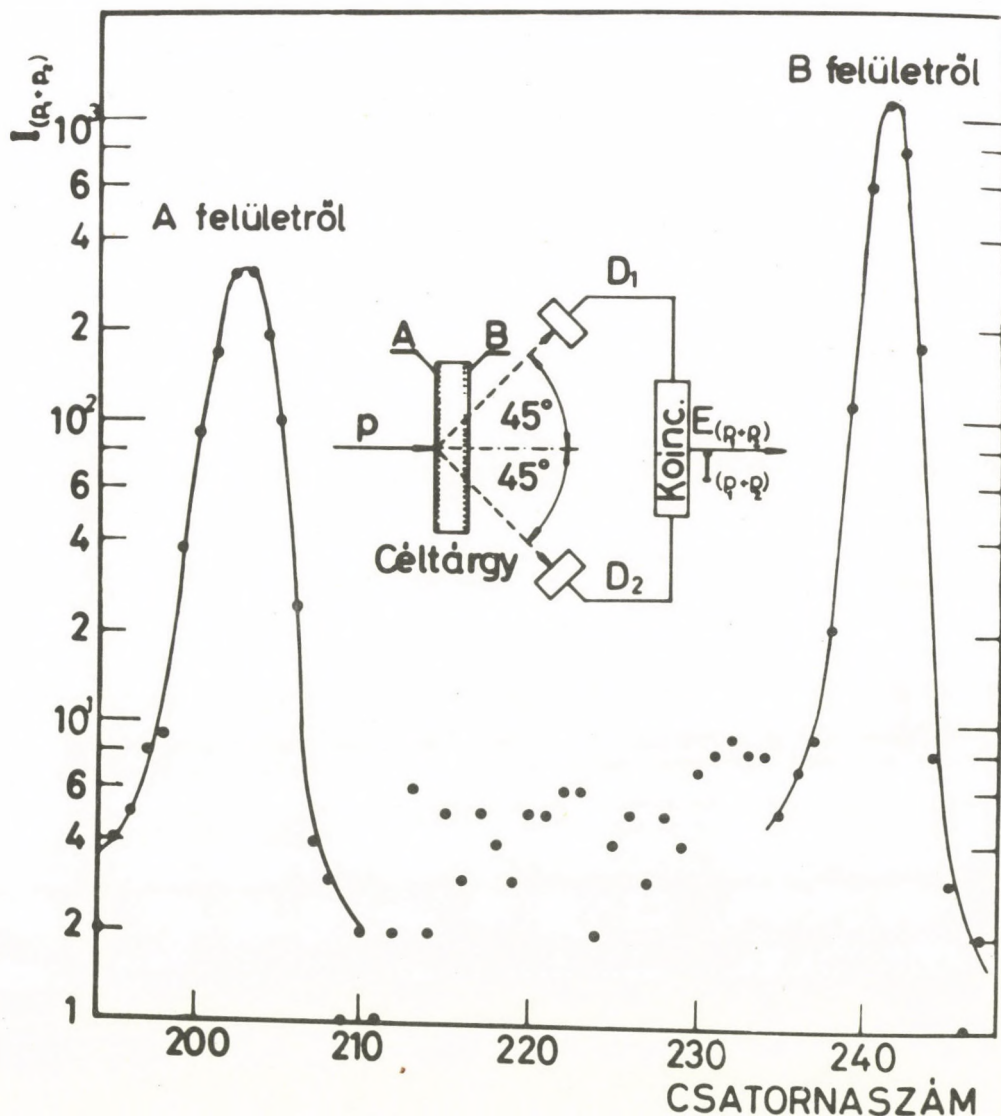
A ciklotront igénylő analitikai módszerek között jelenleg talán az iongerjesztésű késleltetett aktivációs analízis a legelterjedtebb. E módszer hatékonyságára egyetlen példát szeretnénk bemutatni. Franciaországban az Orleans-i kis ciklotront szinte teljes üzemidejében ipari megrendelésű aktivációs analitikai vizsgálatokra használják. Egyik témájuk pl. nagy tisztaságú Al mintában a nyomelemek meghatározása. A 2. táblázat azt mutatja, hogy proton aktiválással egyidejűleg milyen elemeket milyen érzékenységgel tudnak mérni [9].

2. táblázat. Proton aktivációs analízissel elérhető érzékenységek nyomszennyezők vizsgálatánál Al mintában.

10 ⁻³ -10 ⁻² ppm			10 ⁻² -10 ⁻¹ ppm			10 ⁻¹ -1 ppm			1-30 ppm		
Ca	Ti	Cr	Li	V	Fe	B	S	Re	In	Ba	W
Ni	Cu	Zn	As	Sr	Nb	Ir	Au	Tl	Eu	Rh	Tb
Ga	Ge	Se	Ag	Sb	I	Pb	La	Pr			
Br	Rb	Y	Pt	Hg	Nd	Sm	Gd	Dy			
Zr	Mo	Ru	Er			Yb					
Pd	Cd	Sn									
Te											

A gyorsítókra alapozott analitikai módszerekkel nemcsak térfogati koncentrációk mérhetők, hanem mélység, ill. felületi eloszlás is. Hidrogén mélységeloszlás meghatározásának sematikus rajzát, és egy konkrét esetben kapott méréseredményt mutat a 2. ábra [10]. A módszer lényege a következő. Vékony fóliát protonokkal bombázva és koincidencia méréssel kiválogatva a rugalmasan szórt átmenő proton-párokat, ezek energiaösszegének spektruma a mintában lévő hidrogén mélységeloszlásával arányos. A 2. ábra szerint ugyanis a céltárgy "A" frontfelületén történő ütközéskor 2 db felére csökkent energiájú proton fékeződik és

veszt energiát, miközben a céltárgyon át a detektorok felé halad. A "B" felületen való ütközéskor az előző esethez viszonyítva 1 db nagy energiájú proton rövidebb úton halad át a céltárgyon, így kisebb lesz az energiaveszteség, és kisebb a szóráss is az energiaösszegek spektrumában. Az elmondottak alapján értelmezhető a feltüntetett spektrum. A céltárgy 125 μm vastag Al fólia, amelynek mindkét felületén $\sim 0,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ hidrogén van. A céltárgy belsejének hidrogén tartalma $\sim 0,7$ ppm.



2. ábra. Hidrogénnel szennyezett felületű vékony céltárgy vizsgálatánál a koincidenzában mért szórt protonok energiaösszegeinek spektruma.

Az izotóptermelés témakörében a ciklotronok szerepe különösen jelentős a következő okok miatt. A ciklotron ionnyalábok segítségével szinte minden elem néhány neutronhiányos radioaktív izotópja előállítható. A radioaktív anyag nagy fajlagos aktivitással, hordozómentesen, gyakran radiokémiai tisztaságban kapható. Hátrány, hogy a ciklotron-izotópok a reaktorokkal termelt izotópokhoz viszonyítva drágák.

3. Táblázat. Áttekintés a kisméretű ciklotronokkal termelhető izotópokról és előállításuk kísérletileg mért hozamairól

Izotóp	Felezési idő	Magreakció	Bombázó energia /MeV/	Céltárgy	Termelési hozam / μ Ci/ μ Ah/	Irod.
^7Be	53 d	$^7\text{Li}/\text{p}, \text{n}/$	22	Li	170	a
^{11}C	20 m	$^{14}\text{N}/\text{p}, \alpha/$	15	$\text{N}_2/\text{gáz}/$	19000	b
		$^{10}\text{B}/\text{d}, \text{n}/$	14	B_2O_3	300000	c
		$^{12}\text{C}/^3\text{He}, \alpha/$	15-18	CaC_2	2500	c
^{13}N	10 m	$^{16}\text{O}/\text{p}, \alpha/$	18	H_2O	24000	c
		$^{12}\text{C}/\text{d}, \text{n}/$	8	$\text{CO}_2/\text{gáz}/$	3200	b
		$^{14}\text{N}/^3\text{He}, \alpha/$	30	$\text{N}_2/\text{gáz}/$	15000	c
^{15}O	2 m	$^{14}\text{N}/\text{d}, \text{n}/$	8	$\text{N}_2/\text{gáz}/$	4600	b
^{18}F	110 m	$^{20}\text{Ne}/\text{d}, \alpha/$	8	$\text{Ne}/\text{gáz}/$	10000	c
		$^{16}\text{O}/^3\text{He}, \text{p}/$	22	H_2O	6000	c
		$^{16}\text{O}/\alpha, \text{d}/$	30	H_2O	1100	c
^{22}Na	2,6 y	$^{25}\text{Mg}/\text{p}, \alpha/$	22	Mg	0,4	a
		$^{23}\text{Na}/\text{p}, \text{pn}/$	22	Na	3,1	a
^{30}P	2,5 m	$^{27}\text{Al}/\alpha, \text{n}/$	15	Al	10000	b
^{43}K	22 h	$^{40}\text{Ar}/\alpha, \text{p}/$	17	$\text{Ar}/\text{gáz}/$	57	c
^{51}Cr	28 d	$^{51}\text{V}/\text{p}, \text{n}/$	15	V	340	b
^{52}Mn	5,7 d	$\text{Cr}/\text{p}, \text{xn}/$	22	Cr	80	a
^{52}Fe	8,2 h	$^{52}\text{Cr}/^3\text{He}, 3\text{n}/$	23	Cr	0,7	b
		$^{50}\text{Cr}/\alpha, 2\text{n}/$	30	Cr	3,3	c
^{56}Co	77 d	$\text{Fe}/\text{p}, \text{xn}/$	22	Fe	70	a
^{65}Zn	244 d	$^{65}\text{Cu}/\text{p}, \text{n}/$	22	Cu	9,3	a
^{67}Ga	78 h	$\text{Zn}/\text{p}, \text{xn}/$	15	Zn	77	b
		$\text{Zn}/\text{p}, \text{xn}/$	22	Zn	430	c
		$\text{Zn}/\text{d}, \text{xn}/$	8	Zn	30-100	c
		$\text{Zn}/\text{d}, \text{xn}/$	16	Zn	340	c
		$\text{Zn}/\text{d}, \text{xn}/$	16	$^{66}\text{Zn}/90\%/$	946	c
^{73}Se	7,1 h	$^{72}\text{Ge}/^3\text{He}, 2\text{n}/$	15	Ge	250	b
^{77}Br	56 h	$^{75}\text{As}/\alpha, 2\text{n}/$	28	As_2O_5	160	c
				As_2O_3	290	c
				As	170	c
^{81}Rb	4,7 h	$^{81}\text{Br}/^3\text{He}, 3\text{n}/$	22	NaBr	30	c
		$^{79}\text{Br}/\alpha, 2\text{n}/$	30	NaBr	2000	c
^{85}Sr	65 d	$^{85}\text{Rb}/\text{d}, 2\text{n}/$	13	RbCl	15	c
^{88}Y	108 d	$^{88}\text{Sr}/\text{p}, \text{n}/$	22	SrO	20	a
^{111}In	2,8 d	$\text{Cd}/\text{p}, \text{xn}/$	15	Cd	150	c
		$^{111}\text{Cd}/\text{p}, \text{n}/$	16	$^{111}\text{Cd}/\text{dúsított}/$	515	c
		$\text{Cd}/\text{p}, \text{xn}/$	22	Cd	1035	c
		$\text{Cd}/\text{d}, \text{xn}/$	12	Cd	117	c
		$^{109}\text{Ag}/\alpha, 2\text{n}/$	30	Ag	200	c
^{123}I	13 h	$^{123}\text{Te}/\text{p}, \text{n}/$	15	$^{123}\text{Te}/77\%/$	4000	c
		$^{124}\text{Te}/\text{p}, 2\text{n}/$	30	$^{124}\text{Te}/\text{dúsított}/$	40000	c
		$^{122}\text{Te}/\text{d}, \text{n}/$	6-9	$^{122}\text{Te}/\text{dúsított}/$	100	c
		$\text{Sb}/^3\text{He}, \text{xn}/$	23	Sb	24	c
^{123}Xe	2,1 h	$^{123}\text{Te}/^3\text{He}, 3\text{n}/$	30	$^{123}\text{Te}/\text{dúsított}/$	750	c
^{127}Cs	6,2 h	$^{127}\text{I}/^3\text{He}, 3\text{n}/$	22	NaI	500	c
^{167}Tm	9,7 d	$^{167}\text{Er}/\text{p}, \text{n}/$	15	$^{167}\text{Er}/91\%/$	38	b
^{197}Hg	65 h	$^{197}\text{Au}/\text{p}, \text{n}/$	12	Au	14	c
			15	Au	36	b
$^{197\text{m}}\text{Hg}$	24 h	$^{197}\text{Au}/\text{p}, \text{n}/$	12	Au	15	c
			15	Au	23	b
^{203}Pb	52 h	$^{203}\text{Tl}/\text{p}, \text{n}/$	15	Tl	50	c
^{206}Bi	6,2 d	$\text{Pb}/\text{p}, \text{xn}/$	15	Pb	100	b
			22	Pb	700	c
^{208}Po	2,9 y	$^{209}\text{Bi}/\text{p}, 2\text{n}/$	22	Bi	10	a

a/ J.A. Martin, R. S. Livingston, R. L. Murray, M. Rankin, Nucleonics, 13, No. 3 /1955/ 28

b/ R. S. Tilbury, R. E. Bigler, L. Zeitz, J. S. Laughlin, NBS /U.S/ SP 425 /1975/ 520

c/ M. A. Chaudhri, IEEE Trans. on Nucl. Sci., NS-26 /1979/ 2281

A ciklotronnal termelhető izotópokat elsősorban az orvosi gyakorlatban alkalmazzák, de jelentős az igény a népgazdaság termelő ágazatainak részéről is. A radioaktív izotópokat leggyakrabban nyomjelzésre használják, amikor is a kiválasztott élő vagy élettelen anyagba kis mennyiségben beviszik a vizsgálni kívánt elem radioaktív izotópját. Ezen izotóp sugárzását detektálva meghatározható a nyomjelzett elem helye, eloszlása, koncentrációja; fizikai és kémiai folyamatoknál az átalakulások mértéke és sebessége; biológiai mintákban pedig az anyagcsere különböző paramétereiktől való függése.

Az U-103 ciklotron alkalmas izotóptermelésre, ilyen célú felhasználását tervezzük is. A ciklotron kis mérete, és az ennek megfelelően alacsony nyalábenergiái természetesen bizonyos korlátozást jelentenek. A korlátozás elsősorban az erősen neutronhiányos izotópok előállítására vonatkozik, illetve néhány izotóp esetében nem valósítható meg az optimális, azaz a legolcsóbb termelési mód.

Az U-103-hoz hasonló kisméretű ciklotronokkal termelt izotópokról a 3. táblázat ad egy áttekintést. A táblázatban a magreakcióval, a bombázó energiával és céltárggyal jellemzett termelési módok kísérletileg mér termelési hozamai vannak feltüntetve azért, hogy képet kapjunk az U-103-al is termelhető itt feltüntetett izotópok aktivitásban mért mennyiségéről.

Befejezésül talán e rövid áttekintés alapján is megállapítható, hogy a ciklotronnak jelentős szerepe lehet hazánkban is az ipar és mezőgazdaság szempontjából lényeges kutatási és gyakorlati feladatok megoldásában. E feladatok ellátásához azonban nemcsak a tárgyi feltételeket, azaz a ciklotron laboratóriumot és felszerelését, hanem bizonyos személyi feltételeket is biztosítani kell. A személyi feltételek olyan szakemberek kinevelését jelenti, akik majd a ciklotron beindításának idején képesek lesznek az itt tárgyalt témakörökben jelentkező konkrét multidiszciplináris feladatok megoldására. Az eredményes munka kettős feltételének teljesítése tehát nem rövid lejáratu, ami azt jelenti, hogy bár a ciklotron beindításának ideje távolinak tűnik, az alkalmazásokra való felkészülést már most meg kell kezdeni.

Hivatkozások

- [1] 1978 Conference on the Applications of Small Accelerators in Research and Industry. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26 (1979) No.1. Part 1-2.
- [2] Eighth International Conference on Cyclotrons and their Applications. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26 (1979) No.2. Part 1-2.
- [3] Third International Conference on Ion Beam Analysis. Nucl. Instr. Meth. 149 (1978) No.1-3.
- [4] H.D. Grohman, ZfK - 363 (1978) 84.
- [5] M. Burianová, Z. Frynta, ZfK - 363 (1978) 88.
- [6] A. Niller, R. Birkmire, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26 (1979) No.1. p.1815.
- [7] M. A. Lone, C. B. Bigham, J. S. Fraser, H. R. Schneider, T. K. Alexander, A. J. Ferguson and A. B. McDonald, Nucl. Instr. Meth. 143 (1977) 331

- [8] *M. A. Chaudhri, J. Templer and J. L. Rouse*, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26 (1979) No.2. p.2287
- [9] *J. L. Debrun, J. N. Barrandon*, Proc. 7th Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications (Birkhäuser, Basel, 1975) p.507
- [10] *B. L. Cohen, C. L. Fink and J. D. Degnan*, J. Appl. Phys. 43 (1972) 19

Z Á R S Z Ó

VERES ARPÁD

MTA Izotóp Intézete, Budapest

A bevezetőben hallottuk már, hogy a mai tanácskozás mintegy folytatása a ciklotronok interdiszciplináris alkalmazási területei feltérképezésére az MTA Magfizikai Albizottsága által kialakított vitasorozatnak. A KGST Atomenergiái Állandó Bizottsága keretében széleskörű elemző munka folyik a tagállamok besugárzástechnikai igényeinek felmérésére és a rendelkezésre álló gyártó bázis körvonalazására. Ennek kapcsán a hazai igények alaposabb megismerése érdekében igényelte az OAB Műszaki Tudományos Tanácsa e megbeszélés kiszélesítését és a jelenlévők szakmai ismeretét.

Hazai gyorsító ellátottságunk igen szerény. Ezért csaknem valamennyi gyorsítóval, főfeladatán kívül, más igényeket is kielégítenek. Rendelkezünk három betatronnal (30 MeV és 2 db. 6 MeV-s hordozható) három Van de Graaff generátorral (1, 2, 5 MeV), öt neutrongenerátorral, egy 8 MeV-s lineáris elektron-gyorsítóval és néhány ionimplantációs berendezéssel. Beruházás alatt a ciklotron és egy kisteljesítményű 4 MeV-s impulzusüzemű lineáris gyorsító. Az eddig felmerült igényeken is látszik, hogy igen visszafogottak.

A programban szereplő és elhangzott előadások felölelték azokat a leglényegesebb területeket, amelyeken már eddig is hazai körülményeinknek és lehetőségeinknek megfelelő lépések történtek. Gyártó kapacitással - bár volt korábban hajlandóság annak hazai megteremtésére (neutrongenerátorok) - nem rendelkezünk az ionimplantációs berendezések kivételével. Az e téren végzett tevékenység külön is elismerést érdemel. A felhasználói vonal már jóval árnyaltabb. A ciklotron széleskörű felhasználására tervszerű felkészülés folyik. Ezzel foglalkozott több előadás ma is, mind az analitikai, mind az izotópelőállítás területén jól körülhatároltak. A besugárzástechnikai jellegű alkalmazásokkal foglalkozó előadások kapcsán jelentősnek tekinthetők a radiomutációs nemesítési, valamint a fertőzött takarmányok és szennyvizek fertőtlenítési eljárásai, de gazdaságilag lényegesen jobban értékelhetők a műanyagok ipari sugárkezelésére (zsugorcső, kábel), valamint nagyfalvastagságú gyártmányok roncsolásmentes ellenőrzésére irányuló vizsgálatok. Az elhangzott 17 előadásban különböző

kiváncsalmak fogalmazódtak meg az említetteken kívül még a talajbiológiai vizsgálatok vonatkozásaiban is.

Külön ki szeretném emelni a tanácskozás igen aktív jellegét. Az egy napi időtartam erős lényegretörő koncentrálttságot kivánt a résztvevőktől. Az ipari üzemek szakemberei az egyetemek és kutatóintézetek fejlesztői között a szünetekben folytatott eszmecsere további sok hasznos kölcsönös információt szolgáltatott. Ezek mind hozzájárulhatnak a jelenlévők fejlesztési gondjainak megoldásához, a kölcsönös problémák jobb megismeréséhez. Ugy érzem, hogy az ilyen jól körülhatárolt és a lényeges területeket felölelő más területeken hasonló be rendezéseket felhasználni kívánó szakemberek tanácskozása igen hasznosnak bizonyult, és ezt a formát a jövőben is követendő példának tartom. A résztvevők nevében is megköszönöm az ATOMKI vezetőjének és munkatársainak a tanácskozás gondos és jó előkészítését. Annak reményében zárom be tanácskozásunkat, hogy az itt szerzett információk tovább serkentenek bennünket a gyorsító további népgazdasági alkalmazására, az azokban rejlő lehetőségek maximális feltárására, tudományos előrehaladásunk és népgazdaságunk fejlesztése érdekében.

A RÉSZTVEVŐK NÉVSORA

Ádám János	Pestvidéki Gépgyár, Budapest
Bacsó József	MTA ATOMKI, Debrecen
Ballay László	OSSKI, Budapest
Balogh Kadosa	MTA ATOMKI, Debrecen
Baranovics Pál	Villamosszigetelő és Műanyaggyár, Budapest
Bálint Andor	Agrártudományi Egyetem, Gödöllő
Bánvölgyi István	Országos Vizgépészeti Vállalat, Budapest
Bányai Éva	Műszaki Egyetem, Budapest
Berényi Dénes	MTA ATOMKI, Debrecen
Bibok György	MTA ATOMKI, Debrecen
Biró Tamás	MTA Izotóp Int., Budapest
Bornemisza Györgyné	MTA ATOMKI, Debrecen
Bujdosó Ernő	MTA Könyvtára, Budapest
Bürger Gábor	MTA KFKI, Budapest
Berei Klára	MTA KFKI, Budapest
Csengeri István	Haltényésztési Kut. Int., Budapest
Deák Mária	MTA Izotóp Int., Budapest
Dézsai Zoltán	DOTE, Debrecen
Dobó János	Műanyagipari Kut. Int., Budapest
Dombi Imre	MTA ATOMKI, Debrecen
Donrbach Mihály	Pestvidéki Gépgyár, Budapest
Fenyvesi Ede	CSM Fémtani és Technológiai Kut. Int., Budapest
Földesi Dezső	Gyógynövénykutató Int., Budakalász
Földiák Gábor	MTA Izotóp Int., Budapest
di Gleria Márta	PHYLAXIA Oltóanyag- és Tápszertermelő Int., Budapest
Gönczy Árpád	MÉVI, Debrecen
Gueth Sándor	ELTE, Budapest
Gyöngyössi Lajos	Nagynyomású Kisérleti Int., Százhalombatta
Gyulai József	MTA KFKI, Budapest
Hardy Gyuláné	Központi Kémiai Kut. Int., Budapest
Hargitai Péter	
Herbák János	MEDICOR, Debrecen
Hegedüs Zoltán	CSM Fémtani és Technológiai Kut. Int., Budapest
Hegyesi Sándor	MEDICOR, Debrecen
Helmeczi Balázs	Agrártudományi Egyetem, Debrecen
Janovszky Iván	Gyógyszeripari Ellenőrző Lab., Budapest
Jeszenszky Ferenc	MTA Központi Hivatala, Budapest
Józsa Miklós	OAB, Budapest
Kálmán Iván	Műanyagipari Kut. Int., Budapest
Kégly György	Villamosszigetelő és Műanyaggyár, Budapest
Kertész László	ORSI, Budapest
Kiss Ádám	ELTE, Budapest
Kiss István	Közp. Élelmiszeripari Kut. Int., Budapest
Klopfer Ervin	MTA KFKI, Budapest

Kocsár László	OSSKI, Budapest
Kocsis Sándor	MGM, Debrecen
Koltay Ede	MTA ATOMKI, Debrecen
Kostka Pál	MTA KFKI, Budapest
Kovács András	MTA Izotóp Int., Budapest
Kovács Zoltán	MTA ATOMKI, Debrecen
László Miklós	Pestvidéki Gépgyár, Budapest
Lendvay János	OSSKI, Budapest
Lengyel Tamás	MTA Izotóp Int., Budapest
Mahunka Imre	MTA ATOMKI, Debrecen
Mórik Gyula	MTA ATOMKI, Debrecen
Nagy Sándorné	Dohánykutató Int., Debrecen
Paál András	MTA ATOMKI, Debrecen
Pásztor Károly	Agrártudományi Egyetem, Debrecen
Pongrácz Csaba	ELTE, Budapest
Renner János	
Sándory Mihály	MTA Természettudományi I. Főosztály, Budapest
Siklós Albert	
Simon József	PHYLAXIA Oltóanyag- és Tápszertermelő Int., Budapest
Sipos Márta	MEDICOR, Debrecen
Szalay György	Agrártudományi Egyetem, Gödöllő
Szalay Sándor	MTA ATOMKI, Debrecen
Szirtes László	MTA Izotóp Int., Budapest
Szántó András	Tanács Kórház, Veszprém
Takács Sándor	MTA ATOMKI, Debrecen
Tar József	Dunai Vasmű, Dunaujváros
Tóth Lajos	ALUKER-FKI Alumíniumipari Tervező és Kut. Int., Budapest
Török István	MTA ATOMKI, Debrecen
Uray István	MTA ATOMKI, Debrecen
Urbán Aladár	Egészségügyi Minisztérium, Budapest
Valek Aladár	MTA ATOMKI, Debrecen
Vas Károly	Közp. Élelmiszeripari Kut. Int., Budapest
Váraljai László	MGM, Debrecen
Veres Árpád	MTA Izotóp Int., Budapest
Zalka Lajos	Nagynyomású Kisérleti Int., Százhalombatta

Az *ATOMKI Közlemények* negyedévenként jelenik meg.
Terjeszti az ATOMKI Könyvtára (Debrecen, Postafiók 51, 4001).
Tudományos intézetek és könyvtárak kiadványaikért cserébe
vagy ellenszolgáltatás nélkül is megrendelhetik. Kérésre
egy-egy számot vagy különlenyomatot magánszemélyek is ingyen
kaphatnak.

Szerkesztő Bizottság: Szalay Sándor elnök, Lovas Rezső
titkár, Berényi Dénes, Cseh József, Csikai Gyula, Gyarmati
Borbála és Medveczky László.

Kiadja a
Magyar Tudományos Akadémia
Atommagkutató Intézete

A kiadásért és szerkesztésért felelős
dr. Berényi Dénes, az intézet igazgatója

Készült az ATOMKI nyomdájában

Törzsszám: 11311
Debrecen, 1980/1
Példányszám: 750

АТОМ КІ

СООБЩЕНИЯ

Том 22 Приложение I

ATOMKI BULLETIN

Volume 22 Supplement 1